

Aus den Asklepios-Fachkliniken München-Gauting, Klinik für Pneumologie  
Akademisches Lehrkrankenhaus der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Chefarzt: Prof. Dr. med. Karl Häußinger

**Sauerstoff-Therapie bei COPD im fortgeschrittenen Stadium**  
**Untersuchungen zum therapeutischen Effekt bei**  
**Alltagsbelastungen**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Jens Ekkehard Holger Daum  
aus  
München

2010

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. K. Häußinger

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Oliver Eickelberg

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Norbert Weber

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 21.10.2010

**Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht in:**

- Weber N, Daum J, Hoelters J, Haeussinger K. Sauerstoffgabe bei Alltagstätigkeit bei Patienten mit COPD: Ist sie hilfreich? Elektronischer Postervortrag, Kongress der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin 2008
- Weber N, Daum J, Hoelters J, Haeussinger K. Sauerstoffgabe bei Alltagstätigkeit bei Patienten mit COPD: Ist sie hilfreich? Atemw.-Lungenkrkh. 2008; 7: 245-251
- Daum J, Weber N, Hoelters J, Haeussinger K. Sauerstoffgabe bei Alltagstätigkeit bei Patienten mit COPD im Stadium III und IV nach GOLD. Wirksamkeit in Abhängigkeit vom Stadium. Postervortrag, Kongress der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin 2010

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Die chronisch obstruktive Atemwegserkrankung (COPD)	7
1.1.1 Epidemiologie	8
1.1.2 Ätiologie	9
1.1.3 Prognose	9
1.2 Sauerstofftherapie bei COPD	10
1.2.1 Applikationsformen der Sauerstofftherapie	10
1.2.2 Indikationen	11
1.2.3 Kontraindikationen	12
1.2.4 Belastungstests – Grundlagen	12
1.2.5 Sechs-Minuten-Gehtest, Ergometrie	12
1.3 Zielsetzung	13
<b>2. Methode</b>	<b>14</b>
2.1 Patienten	14
2.1.1 Methodik	14
2.1.2 Studiendesign	16
2.1.3 Randomisierung	16
2.1.4 Untersuchungsablauf und Befundung	17
2.2 Statistik	18
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>19</b>
3.1 Änderung der Sauerstoffsättigung absolut	19
3.1.1 Änderung der Sauerstoffsättigung bei bückender Tätigkeit	19
3.1.2 Änderung der Sauerstoffsättigung bei Arbeiten über Kopf	21

	<b>Seite</b>
3.2 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung	22
3.2.1 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung bei bückender Tätigkeit	22
3.2.2 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung bei Arbeiten über Kopf	24
3.3 Änderung des Atemnotempfindens	25
3.3.1 Änderung des Atemnotempfindens bei bückender Tätigkeit	25
3.3.2 Änderung des Atemnotempfindens bei Arbeiten über Kopf	27
3.3.3 Vergleich des Atemnotempfindens bei bückender Tätigkeit mit Arbeiten über Kopf	28
3.4 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit	31
3.4.1 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit bei bückender Tätigkeit	31
3.4.2 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit bei Arbeiten über Kopf	33
3.5 Vergleich der Patienten im Stadium GOLD III vs. GOLD IV	34
3.5.1 Änderung der Sauerstoffsättigung bei bückender Tätigkeit	34
3.5.2 Änderung der Sauerstoffsättigung bei Arbeiten über Kopf	36
3.5.3 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung bei bückender Tätigkeit	37
3.5.4 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung bei Arbeiten über Kopf	39
3.5.5 Änderung des Atemnotempfindens bei bückender Tätigkeit	40
3.5.6 Änderung des Atemnotempfindens bei Arbeiten über Kopf	42
3.5.7 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit bei bückender Tätigkeit	43
3.5.8 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit bei Arbeiten über Kopf	45
<b>4. Diskussion</b>	<b>47</b>
4.1 Die COPD als komplexe systemische Erkrankung: Ein neues Krankheitsverständnis	47
4.2 Prognose der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung unter Sauerstofftherapie	49

	<b>Seite</b>
4.3 Sauerstofftherapie – Eine Übersicht über die Studienlage und Diskussion der eigenen Ergebnisse mit der Literatur	49
4.3.1 Der Einfluss unterschiedlicher Methodik auf die Studienergebnisse	52
4.3.2 Größe der Patientenkollektive, Einschlusskriterien	53
4.3.3 Studiendesign	53
4.3.4 Diskussion der gefundenen Ergebnisse	53
 <b>5. Ausblick</b>	 <b>55</b>
5.1 Die Sauerstofftherapie im klinischen Alltag	55
5.2 Kosten der Sauerstofftherapie – eine exemplarische Aufstellung	55
5.3 Überlegungen zur therapeutischen Konsequenz – Stellungnahme des Autors	56
 <b>6. Zusammenfassung</b>	 <b>57</b>
 <b>7. Abkürzungen</b>	 <b>58</b>
 <b>8. Literaturverzeichnis</b>	 <b>59</b>
 <b>9. Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen</b>	 <b>67</b>
9.1 Abbildungsverzeichnis	67
9.2 Tabellenverzeichnis	69
 <b>10. Danksagung</b>	 <b>72</b>

## 1. Einleitung

### 1.1 Die chronisch obstruktive Atemwegserkrankung (COPD)

Die chronisch obstruktive Atemwegserkrankung ist gekennzeichnet durch eine Obstruktion der Atemwege, die die normale Atmung behindert und die durch die Gabe von Bronchospasmolytika und beziehungsweise oder Steroiden nicht vollständig reversibel ist. Die Einschränkung der Lungenfunktion nimmt mit Dauer der Erkrankung in der Regel zu.

Die klassischen Symptome der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung sind Dyspnoe, chronischer Husten sowie eine ausgeprägte Sputumproduktion. Bei Verschlechterung des Krankheitsbildes oder infektbedingten Exazerbationen können bereits alltägliche körperliche Aktivitäten wie längere Gehstrecken oder Treppen steigen nur noch schwer oder gar nicht mehr zu bewältigen sein.

Die Diagnose einer chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung wird neben der Anamnese durch die Lungenfunktionsprüfung inklusive einem Bronchospasmolysetest sowie durch eine Blutgasanalyse gestellt. Die chronisch obstruktive Atemwegserkrankung wird nach der GOLD-Klassifikation in vier Schweregrade (I bis IV) unterteilt (Abb. 1) [60, 68].

I: Mild	II: Moderat	III: Schwer	IV: Sehr schwer
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>FEV_1/FVC &lt; 70\%</math></li> <li>• <math>FEV_1 \geq 80\%</math><sup>f</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>FEV_1/FVC &lt; 70\%</math></li> <li>• <math>50\%<sup>f</sup> &lt; FEV_1 &lt; 80\%<sup>f</sup></math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>FEV_1/FVC &lt; 70\%</math></li> <li>• <math>30\%<sup>f</sup> &lt; FEV_1 &lt; 50\%<sup>f</sup></math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>FEV_1/FVC &lt; 70\%</math></li> <li>• <math>FEV_1 &lt; 30\%<sup>f</sup></math></li> <li>oder <math>FEV_1 &lt; 50\%<sup>f</sup></math></li> <li>plus chronische Ateminsuffizienz</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktive Reduktion der Risikofaktoren; Grippeimpfung</li> <li>• <b>Zusätzliche</b> Behandlung mit einem kurzwirksamen Bronchodilatator</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Zusätzliche</b> Behandlung mit einem oder mehreren lang wirksamen Bronchodilatator(en) (z.B. Foradil®)</li> <li>• <b>Zusätzlich</b> Rehabilitation</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Zusätzliche</b> Behandlung mit inhalativem Kortikosteroid bei wiederholten Exazerbationen (z.B. Miflonide®)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Zusätzlich</b> Langzeit-Sauerstoff-Therapie bei chronischer Ateminsuffizienz</li> <li>• Chirurgische Behandlung <b>erwägen</b></li> </ul>

Abbildung 1:  
Stadieneinteilung  
der COPD nach  
GOLD

Um das Atemnotempfinden eines Patienten mit chronisch-obstruktiver Atemwegserkrankung zu dokumentieren, wird neben technischen Messwerten wie der Pulsoxymetrie, der Blutgasanalyse und der Lungenfunktionsprüfung auch das Beschwerdebild des Patienten

erfasst. Um diese Beschwerden darstellen zu können, werden neben klinischen Scores wie zum Beispiel der NYHA-Klassifikation auch visuelle Analogskalen zur Erfassung des subjektiven Befindens des Patienten genutzt. Eine gängige und auch in der vorliegenden Arbeit genutzte Analogskala ist die zehnstufige sogenannte BORG-Skala (Abb. 2) [69]. Mit ihrer Hilfe kann in Stufen von 1 bis 10 das subjektive Atemnotempfinden erfasst werden (1=keine Atemnot, bis zu 10=schwerste Atemnot).

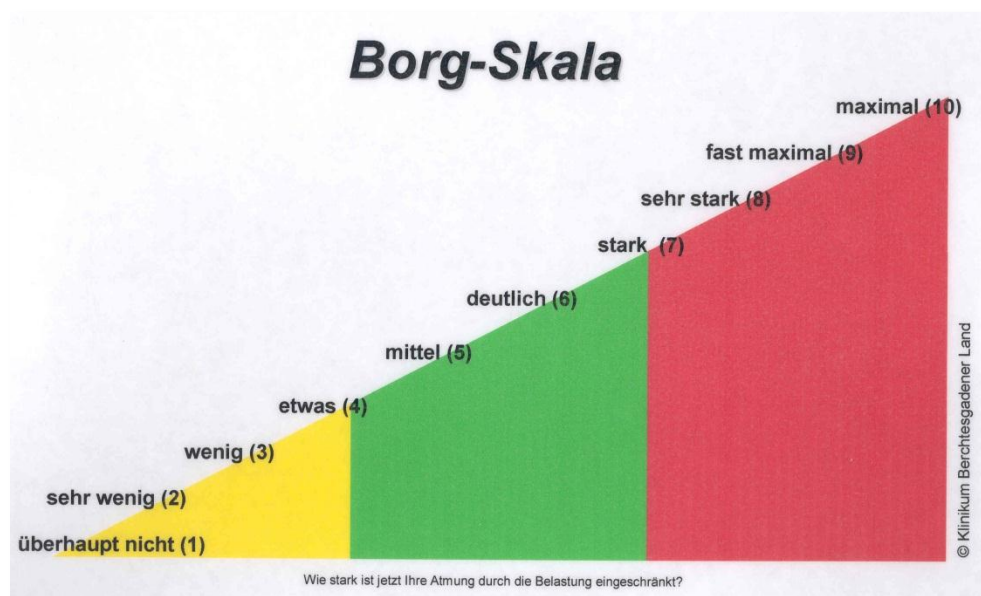


Abbildung 2:  
BORG-Skala

### 1.1.1 Epidemiologie

In der Vergangenheit haben ungenaue und unterschiedliche Definitionen der COPD sowie die Unterdiagnostizierung der Erkrankung eine genaue Aussage über die Prävalenz erschwert. Insgesamt betrachtet liegt die Prävalenz der Erkrankung bei Rauchern und ehemaligen Rauchern deutlich höher als bei Nichtrauchern sowie höher bei Männern und höher bei Patienten über dem 40. Lebensjahr [52]. Aktuell geht man in den USA von etwa 23,6 Millionen Patienten mit COPD aus, entsprechend 13,9% der dortigen Bevölkerung. Etwa 2,4 Millionen dieser Patienten (entsprechend 1,4% der Bevölkerung) leiden an einer COPD im Stadium III oder IV nach GOLD. Angesichts der steigenden Lebenserwartung und der Änderung der Rauchgewohnheiten ist mit einem weiteren Anstieg von Morbidität und Mortalität verursacht durch die COPD zu rechnen [28].



### *1.1.2 Ätiologie*

Als Hauptursache der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung ist das inhalative Tabakrauchen zu nennen, bis zu 90 % der Erkrankungsfälle werden hierdurch verursacht [3]. Die regelmäßige Exposition zu Passivrauch erhöht das Risiko, an einer COPD zu erkranken um etwa 40 % [31], in Deutschland werden jährlich über 900 Todesfälle einer durch Passivrauch verursachten COPD zugeschrieben [26]. Auch die Luftverschmutzung, die Verschmutzung der Raumluft (besonders in Entwicklungsländern durch fossile Brennstoffe), Belastungen durch Chemikalien und Stäube sowie häufige pulmonale Infekte im Kindesalter gelten als Risikofaktoren [64]. Eine eher seltene Erkrankungsursache stellt der Alpha-1-Antitrypsinmangel dar, hier wird die Prävalenz eines homozygoten Mangels vom Typ PiZZ auf 1:1600 bis 1:2000 Personen geschätzt [6].

### *1.1.3 Prognose*

Die alleinige Verwendung der FEV1 als prognostischer Faktor bei der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung wird mittlerweile kritisch gesehen, da die systemischen Auswirkungen der Erkrankung dabei keine Berücksichtigung finden. Als neuer Prognosescore wurde der sogenannte BODE-Index etabliert, der neben der FEV1 den Body-Mass-Index, das Atemnotempfinden (gemessen an der MMRC Dyspnoe-Skala) und den 6-Minuten-Gehtest beinhaltet. Der BODE-Index umfasst eine Skala von 1 bis 10 Punkten, die Punkte werden dabei addiert, wobei eine höhere Anzahl an Punkten mit einem höheren Mortalitätsrisiko korreliert. So haben Patienten mit einem Punktwert von 7 bis 10 eine 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit von nur 20 % [10].

## 1.2 Sauerstofftherapie bei COPD

Als bisher einzige therapeutische Maßnahme verlängert Langzeitsauerstofftherapie die Überlebenszeit bei schwerer chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung [16, 41, 46]. Auch bei Patienten ohne Hypoxämie konnte gezeigt werden, dass Sauerstoffzufuhr die Belastungsintensität bzw. –dauer verbessert. Eine Verbesserung der Lebensqualität kann durch mobile Sauerstoffsysteme erreicht werden. Die Linderung der Atemnot bei Patienten mit COPD resultiert vermutlich aus einer Abnahme des Atemminutenvolumens und der dynamischen Hyperinflation, aus der Abnahme der hypoxiebedingten pulmonalen Vasokonstriktion und somit Verbesserung der Hämodynamik [35].

### 1.2.1 Applikationsformen der Sauerstofftherapie

Neben den früher gebräuchlichen Gasdruckflaschen (Abb. 3) steht den Patienten heute eine größere Auswahl an Darreichungsformen für die Sauerstofftherapie zur Verfügung. Für den stationären Betrieb eignen sich Sauerstoffkonzentratoren (Abb. 4), die den Sauerstoff aus der Umgebungsluft anreichern und dem Patienten zuführen. Die Flussraten sind bei den Konzentratoren technikbedingt begrenzt. Mittlerweile gibt es Geräte, mit denen zusätzlich auch eine kleine Druckgasflasche gefüllt werden kann, um dem Patienten noch Mobilität zu ermöglichen. Die Nutzung wird jedoch durch den hohen zeitlichen Bedarf der Flaschenfüllung eingeschränkt. Neben den großen Sauerstoffkonzentratoren wurden neue, kleinere Modelle auf den Markt gebracht, die über Akkubetrieb den Patienten unterwegs mit Sauerstoff versorgen können (Abb. 5) [67].



Abbildung 3:  
Gasdruckflasche



Abbildung 4:  
Heim-O<sub>2</sub>-  
Konzentrator



Abbildung 5:  
Mobiler O<sub>2</sub>-  
Konzentrator

Als weitere Darreichungsform sind Flüssigsauerstoffsysteme weit auf dem Markt verbreitet. Dabei wird der Patient mit einem Sauerstofftank für den häuslichen Bereich versorgt, an dem er zusätzlich kleine Flüssigsauerstoffflaschen für den mobilen Einsatz befüllen kann (Abb. 6) [66]. Die Flaschenfüllung benötigt nur sehr kurze Zeit, der Sauerstoffvorrat dieser Flaschen reicht je nach Flussrate für mehrere Stunden. Diese Form der Sauerstofftherapie ist vor allem für sehr mobile Patienten geeignet, die Kosten sind jedoch deutlich höher als bei der Versorgung mit einem Sauerstoffkonzentrator. Kostendämmend können hier sogenannte Demand-Ventile (Abb. 7) [67] wirken, die atemzuggetriggert nur bei der Inspiration den Flüssigsauerstoff aus der Flasche freigeben. Vor Verordnung eines Demand-Ventils sollte in einem Belastungstest überprüft werden, ob der Patient unter Belastung bei Nutzung des Ventils einen Abfall des  $pO_2$  erleidet.



Abbildung 6:  
Flüssig-O<sub>2</sub> mit  
stationärem Tank  
und Tragebehälter



Abbildung 7:  
Demand-Ventil

### *1.2.2 Indikationen für die Sauerstofftherapie*

Ab einem  $p_aO_2 \leq 55$  mmHg bzw. einer  $S_aO_2 \leq 90$  % bei Normoventilation in Ruhe oder  $\leq 60$  mmHg bei chronischem Cor pulmonale ist eine Sauerstofflangzeittherapie indiziert. Die Messwerte sollten in einer stabilen Krankheitsphase reproduzierbar sein und bei Belastungstests unterschritten werden. Als therapeutisches Ziel sollte eine Sauerstoffsättigung  $S_aO_2 > 90$  % in Ruhe, Belastung und Schlaf angestrebt werden [38].

### *1.2.3 Kontraindikationen für die Sauerstofftherapie*

Es gibt keine absoluten Kontraindikationen für eine Sauerstofftherapie. Als relative Kontraindikationen gelten ein fehlender  $p_aO_2$ -Anstieg unter Sauerstoffgabe (bei einem Rechts-Links-Shunt als alleinige Ursache), ein Ausgangs  $p_aCO_2 > 70$  mmHg bzw. eine ausgeprägte  $CO_2$ -Retention ( $p_aCO_2$ -Anstieg  $> 15$  mmHg) auch bei geringer Dosierung. Ein eventuell noch bestehender Nikotin-Abusus sollte beendet werden, um die eingeschränkte respiratorische Situation nicht weiter zu beeinträchtigen, zudem besteht bei Kontakt von reinem Sauerstoff zu offenem Feuer erhebliche Explosionsgefahr.

### *1.2.4 Belastungstests – Grundlagen*

Ein Belastungstest sollte unter Standardbedingungen ablaufen, damit reproduzierbare Ergebnisse entstehen, nach denen dann eine Sauerstofflangzeittherapie verordnet werden oder der Erfolg einer antiobstruktiven Therapie objektiviert werden kann.

### *1.2.5 Sechs-Minuten-Gehtest, Ergometrie*

Der Sechs-Minuten-Gehtest (6MWT) erlaubt es, auch bei eingeschränkter körperlicher Leistungsfähigkeit des Probanden eine Aussage über das Verhalten der Blutgase unter Belastung und die Belastbarkeit per se zu erhalten. Allerdings wird die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse kritisch gesehen [14], zudem kann der Gehtest vielerorts aufgrund der räumlichen Gegebenheiten gar nicht durchgeführt werden.

Die Ergometrie hingegen liefert validere Ergebnisse [49], erfordert jedoch eine teure Ausrüstung, ist im klinischen Alltag technisch aufwändiger und sowohl zeit- als auch personalintensiver.

Letztendlich wäre eine Belastungsform als Untersuchungsinstrument wünschenswert, die einer alltäglichen Belastung entspricht und somit den tatsächlichen Leistungsstand des Patienten in seiner gewohnten Umgebung widerspiegelt.

### *1.3 Zielsetzung*

Unter Berücksichtigung der Literatur bestand die Arbeitshypothese, dass Patienten unter Sauerstoffzufuhr mehr Aktionen pro Zeiteinheit leisten können und bzw. oder ihr Atemnot-Empfinden unter Sauerstoffzufuhr weniger ausgeprägt ist als unter Raumlufbedingungen.

Das Ziel dieser Studie war es eine Aussage zu erhalten über:

- Das Ausmaß des Abfalles der Sauerstoffsättigung ( $\text{SaO}_2$ ) bei alltäglichen Belastungen unter Raumluf (RL) bzw. unter Sauerstoffzufuhr mit einer Flussrate von 2L  $\text{O}_2$  pro Minute
- Eine potentielle Zunahme von Alltagstätigkeiten pro Zeiteinheit unter Sauerstoffzufuhr
- Eine potentielle Linderung des Atemnotempfindens unter Sauerstoffzufuhr

## 2. Methode

### 2.1 Patienten

In die Studie eingeschlossen wurden 60 Patienten (40 männlich, 20 weiblich) mit einer chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung im Stadium III und IV nach der GOLD-Klassifizierung. Die durchschnittliche FEV1 betrug  $39,7 \pm 5,8\%$  pred. (GOLD III) bzw.  $34,1 \pm 8,6\%$  pred. (GOLD IV). Das durchschnittliche Alter betrug 62,9 (GOLD III) bzw. 61,5 (GOLD IV) Jahre (Range 44 – 78 Jahre). Der durchschnittliche  $p_aO_2$  (unter Raumluft-Bedingungen in Ruhe gemessen) betrug  $66,0 \pm 6,6$  mmHg (GOLD III) bzw.  $56,5 \pm 7,7$  mmHg (GOLD IV). 36 Patienten waren aufgrund ihrer respiratorischen Insuffizienz Sauerstoffpflichtig. Vier Patienten wiesen einen homozyten (PiZZ), eine Patientin einen heterozygoten (PiSZ) Alpha-1-Antitrypsin-Mangel auf. Patienten mit Schmerzsymptomatik bei bückender Tätigkeit oder schweren Komorbiditäten wie kardiovaskulären Begleiterkrankungen wurden nicht in die Studie aufgenommen.

#### 2.1.1 Methodik

Als Alltagstätigkeiten wurden eine bückende Tätigkeit (Bü) und eine Tätigkeit über Kopf (ÜK) ausgewählt, entsprechend alltäglichen Belastungen im Haushalt wie Aufheben heruntergefallener Gegenstände oder Haarpflege.

Bei der bückenden Tätigkeit wurden die Probanden gebeten, über eine Minute Dauer nacheinander jeweils einen leichten Gegenstand (ein Heft) vom Boden aufzuheben und in einem Ablagekorb auf einem Meter Höhe abzulegen (Abb. 8).



Abbildung 8:  
Bückende Tätigkeit

Beim Arbeiten über Kopf sollten die Probanden ebenfalls über eine Minute Dauer aus einem Regal auf Kopfhöhe bzw. über Kopf leichte Gegenstände (dünne Aktenordner) in das benachbarte Regal auf gleicher Höhe umsortieren (Abb. 9).

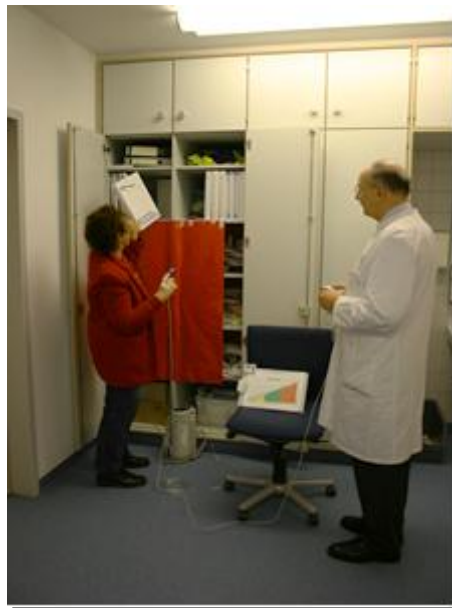
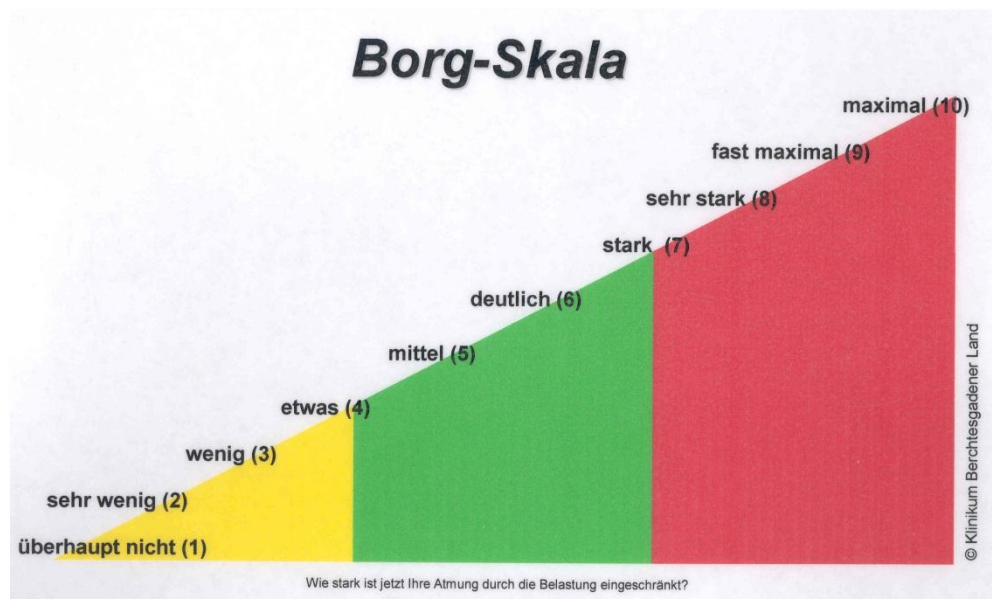


Abbildung 9:  
Arbeiten über Kopf

Die Anzahl der pro Minute aufgehobenen bzw. umsortierte Gegenstände wurde als Aktionen pro Zeiteinheit bezeichnet und festgehalten.

Beide Tätigkeiten wurden jeweils an 2 aufeinander folgenden Untersuchungstagen absolviert, an einem Tag unter Raumlufumbedingungen, am anderen Tag unter Zufuhr von 2L O<sub>2</sub> pro Minute.

Das Atemnot-Empfinden wurde anhand der 10-stufigen Borg-Skala erfasst (Abb. 10) [69].

Abbildung 10:  
BORG-Skala

Während der Tätigkeiten wurden Puls und  $\text{SaO}_2$  kontinuierlich mittels eines Pulsoxymeters (SPIROPro® Fa. Viasys) gemessen.

Erfasst wurden die  $\text{SaO}_2$  zu Beginn und am Ende sowie die durchschnittliche  $\text{SaO}_2$  (mittlere  $\text{SaO}_2$ ) während des jeweils einminütigen Zyklus.

Zeitnah zu den Untersuchungen wurde bei jedem Probanden eine kapilläre Blutgasanalyse vorgenommen.

### 2.1.2 Studiendesign

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine prospektive, randomisierte und einfach verblindete (Sauerstoffzufuhr oder Raumlufte) Studie. Durch ihre Unterschrift erklärten sich die Probanden mit der freiwilligen Teilnahme an der Studie einverstanden. Da es sich um eine harmlose, nicht-invasive Versuchsanordnung handelte, wurde auf einen Studienantrag bei der Ethikkommission verzichtet.

### 2.1.3 Randomisierung

Jeder der Probanden wurde mittels Losverfahren vor Beginn der jeweiligen Untersuchung einer der 4 Gruppen zugeteilt.



### *2.1.4 Untersuchungsablauf und Befundung*

Vor der Untersuchung wurden die Patienten über den Untersuchungsablauf aufgeklärt und in die BORG-Skala eingewiesen. Jeweils 15 Minuten vor dem Beginn der Untersuchung wurden die Patienten gebeten, ein kurzwirksames Bronchospasmolytikum zu applizieren und gegebenenfalls eine bestehende Sauerstoffzufuhr zu unterbrechen. Um jede vorausgehende Erschöpfung zu vermeiden und um standardisierte Untersuchungsbedingungen zu schaffen, wurden die Patienten mit einem Rollstuhl in den Untersuchungsraum gebracht. An jedem der beiden Untersuchungstage wurde zu Beginn eine Lungenfunktionsprüfung (Fa. Jäger) durchgeführt. Danach wurde jedem Probanden eine Sauerstoffbrille in typischer Weise angelegt, deren Schlauch mit einem Flüssig-O<sub>2</sub>-System verbunden war. Die Gruppen 1 und 2 führten die Untersuchung am ersten Tag unter einer Sauerstoff-Flussrate von 2L/Min. durch, am zweiten Tag wurde das Flüssig-O<sub>2</sub>-System zwar angeschlossen, das Ventil (vom Patienten unbemerkt) jedoch nicht geöffnet. Somit erfolgte die Untersuchung an Tag 2 unter Raumlufthbedingungen. Die Gruppen 3 und 4 führten dagegen die Untersuchung am ersten Tag unter Raumlufthbedingungen und am zweiten Tag unter der Sauerstoff-Flussrate von 2L/Min. durch. Vier Minuten nach der Lungenfunktionsprüfung wurde über 1 Minute die erste Tätigkeit durchgeführt, nach einer weiteren vierminütigen Ruhepause die zweite Tätigkeit über eine Minute. Jeweils vor und nach der jeweiligen Tätigkeit wurden die Patienten gebeten, ihr Atemnot-Empfinden anhand der BORG-Skala anzugeben.

Die Gruppen 1 und 3 führten als erste Übung die bückende Tätigkeit, danach die Tätigkeit über Kopf durch. Die Gruppen 2 und 4 führten die Übungen in umgekehrter Reihenfolge durch. Diese Randomisierung erfolgte unter der Zielsetzung, die Auswirkung von Lerneffekten am zweiten Tag zu minimieren und verstärkte Erschöpfungserscheinungen bei der zweiten Tätigkeit als Folge der vorangegangenen auszugleichen. Der Ablauf der Untersuchungen ist in Tabelle Nr. 1 wiedergegeben.

Nach Beendigung der Untersuchungen an Tag 2 wurden die Patienten befragt, an welchem der beiden Untersuchungstage ihrer subjektiven Meinung nach Sauerstoff verabreicht wurde.

Tabelle 1:  
Untersuchungsablauf

Gruppen	Tag	LuFu	O <sub>2</sub> /RL	4 Min. Ruhe	1. Tätigkeit (1 Min.)	4 Min. Ruhe	2. Tätigkeit (1 Min.)
Gruppe 1	Tag 1	⇒	2L O <sub>2</sub>	⇒	Bücken	⇒	Über Kopf
	Tag 2	⇒	RL	⇒	Bücken	⇒	Über Kopf
Gruppe 2	Tag 1	⇒	2L O <sub>2</sub>	⇒	Über Kopf	⇒	Bücken
	Tag 2	⇒	RL	⇒	Über Kopf	⇒	Bücken
Gruppe 3	Tag 1	⇒	RL	⇒	Bücken	⇒	Über Kopf
	Tag 2	⇒	2L O <sub>2</sub>	⇒	Bücken	⇒	Über Kopf
Gruppe 4	Tag 1	⇒	RL	⇒	Über Kopf	⇒	Bücken
	Tag 2	⇒	2L O <sub>2</sub>	⇒	Über Kopf	⇒	Bücken

## 2.2 Statistik

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte über den gepaarten t-Test. Irrtumswahrscheinlichkeiten mit einem p-Wert < 0,05 wurden als statistisch signifikant gewertet. Das Datenmanagement basierte auf Excel 2004 (Microsoft Corp., USA). Für die statistischen Analysen wurde „AnalystSoft, StatPlus:mac - Programm statistischer Analyse. Version 2008.“ (Siehe <http://www.analystsoft.com/de/>) verwendet.

### 3. Ergebnisse

Es wurden 60 Probanden (M 40, W 20) mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung Stadium III und IV nach GOLD rekrutiert und die gewonnenen Daten ausgewertet. Das durchschnittliche Alter betrug 62,9 (GOLD III) bzw. 61,5 (GOLD IV) Jahre (Range 44 – 78 Jahre). Die durchschnittliche FEV1 betrug  $39,7 \pm 5,8\%$  pred. (GOLD III) bzw.  $34,1 \pm 8,6\%$  pred. (GOLD IV). Der durchschnittliche  $pO_2$  in Ruhe unter Raumlufbedingungen betrug  $66,0 \pm 6,6$  mmHg (GOLD III) bzw.  $56,5 \pm 7,7$  mmHg (GOLD IV).

#### 3.1 Änderung der Sauerstoffsättigung absolut

##### 3.1.1 Änderung der Sauerstoffsättigung bei bückender Tätigkeit

Die bückende Tätigkeit unter Raumlufbedingungen führt zu einer signifikanten Entsättigung (DSaO<sub>2</sub>), bei den Patienten im GOLD-Stadium III mit  $3,9 \pm 3,6$  Prozentpunkten ( $p=0,02$ ) und bei den Patienten im GOLD-Stadium IV mit  $5,1 \pm 2,9$  Prozentpunkten ( $p=0,01$ ). Während bei den Patienten im Stadium III durch Sauerstoffzufuhr keine signifikante Abnahme der DSaO<sub>2</sub> zu erzielen war ( $2,7 \pm 3,2$  Prozentpunkte,  $p>0,05$ ), wurde bei den Patienten im Stadium IV durch Sauerstoffzufuhr die DSaO<sub>2</sub> signifikant gesenkt ( $3,8 \pm 2,6$  Prozentpunkte,  $p=0,04$ ).

DSaO <sub>2</sub> GOLD III Bücken			SaO <sub>2</sub>	DSaO <sub>2</sub>
RL	Bücken	vor	92,8	3,9
RL	Bücken	nach	88,9	
O <sub>2</sub>	Bücken	vor	95,5	2,7
O <sub>2</sub>	Bücken	nach	92,8	

Tabelle 2a:  
DSaO<sub>2</sub> bei bückender  
Tätigkeit, Patienten im  
Stadium GOLD III

DSaO <sub>2</sub> GOLD IV Bücken			SaO <sub>2</sub>	DSaO <sub>2</sub>
RL	Bücken	vor	90,2	5,1
RL	Bücken	nach	85,1	
O <sub>2</sub>	Bücken	vor	93,7	3,8
O <sub>2</sub>	Bücken	nach	89,9	

Tabelle 2b:  
DSaO<sub>2</sub> bei bückender  
Tätigkeit, Patienten im  
Stadium GOLD IV

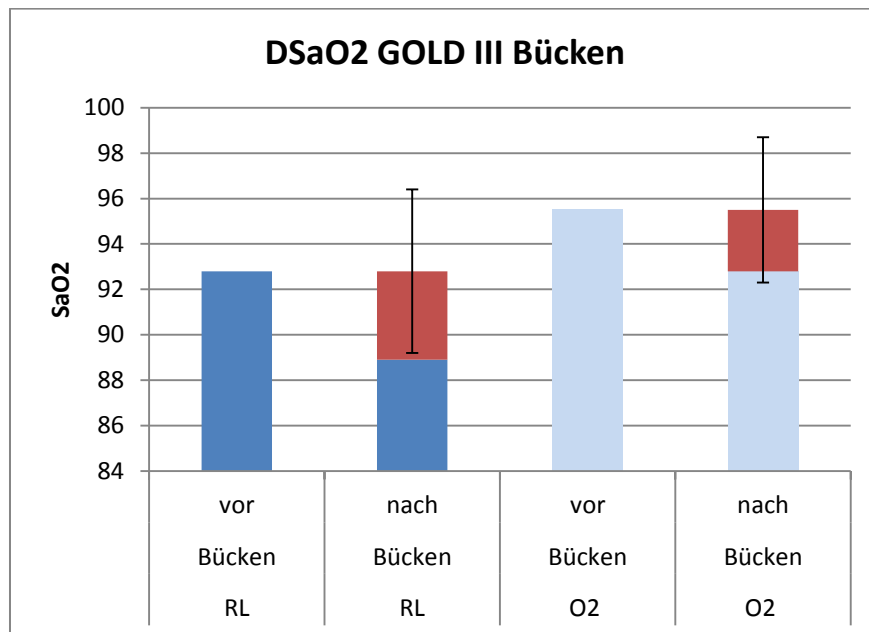


Abbildung 11:  
DSaO<sub>2</sub> bei bückender  
Tätigkeit, Patienten im  
Stadium GOLD III

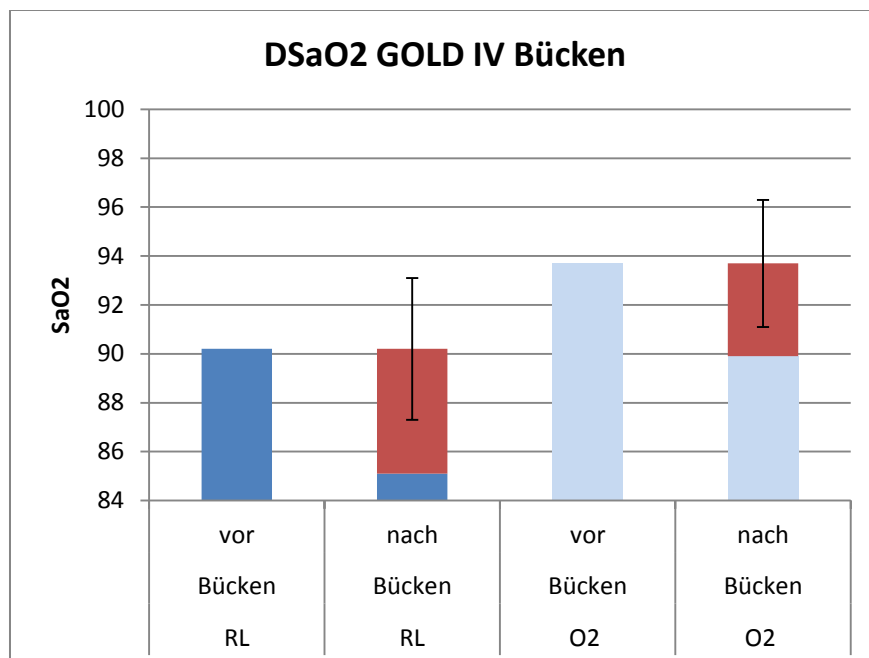


Abbildung 12:  
DSaO<sub>2</sub> bei bückender  
Tätigkeit, Patienten  
im Stadium GOLD IV

### 3.1.2 Änderung der Sauerstoffsättigung bei Arbeiten über Kopf

Bei der Arbeit über Kopf tritt unter Raumlufumbedingungen bei den Patienten im Stadium GOLD III ebenfalls eine signifikante Entsättigung ein ( $1,5 \pm 1,5$  Prozentpunkte,  $p=0,03$ ), wohingegen die Entsättigung der Patienten im Stadium IV nicht signifikant war ( $1,5 \pm 2,5$  Prozentpunkte,  $p>0,05$ ). In beiden Stadien konnte durch die Sauerstoffzufuhr jedoch keine signifikante Senkung der DSaO<sub>2</sub> erreicht werden (GOLD III:  $1,1 \pm 1,9$ ,  $p>0,05$ ; GOLD IV:  $1,7 \pm 1,6$ ,  $p>0,05$ ).

DSaO <sub>2</sub> GOLD III Arbeit über Kopf			SaO <sub>2</sub>	DSaO <sub>2</sub>
RL	Arbeit	vor	93,4	1,5
RL	über Kopf	nach	91,9	
O <sub>2</sub>	Arbeit	vor	95,8	1,1
O <sub>2</sub>	über Kopf	nach	94,7	

Tabelle 3a:  
DSaO<sub>2</sub> bei Arbeiten  
über Kopf, Patienten  
im Stadium GOLD III

DSaO <sub>2</sub> GOLD IV Arbeit über Kopf			SaO <sub>2</sub>	DSaO <sub>2</sub>
RL	Arbeit	vor	89,9	1,5
RL	über Kopf	nach	88,4	
O <sub>2</sub>	Arbeit	vor	93,7	1,7
O <sub>2</sub>	über Kopf	nach	92	

Tabelle 3b:  
DSaO<sub>2</sub> bei Arbeiten  
über Kopf, Patienten  
im Stadium GOLD IV

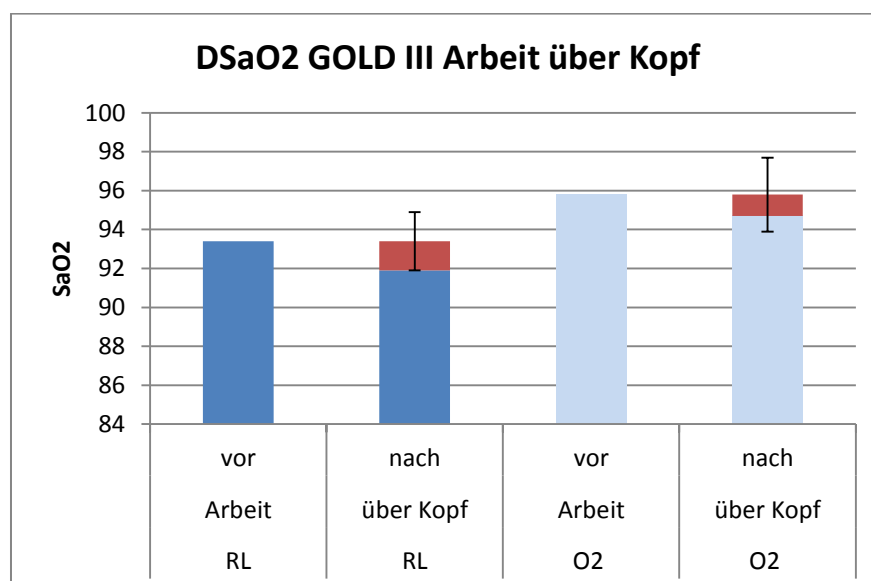


Abbildung 13:  
DSaO<sub>2</sub> bei Arbeiten  
über Kopf, Patienten  
im Stadium GOLD III

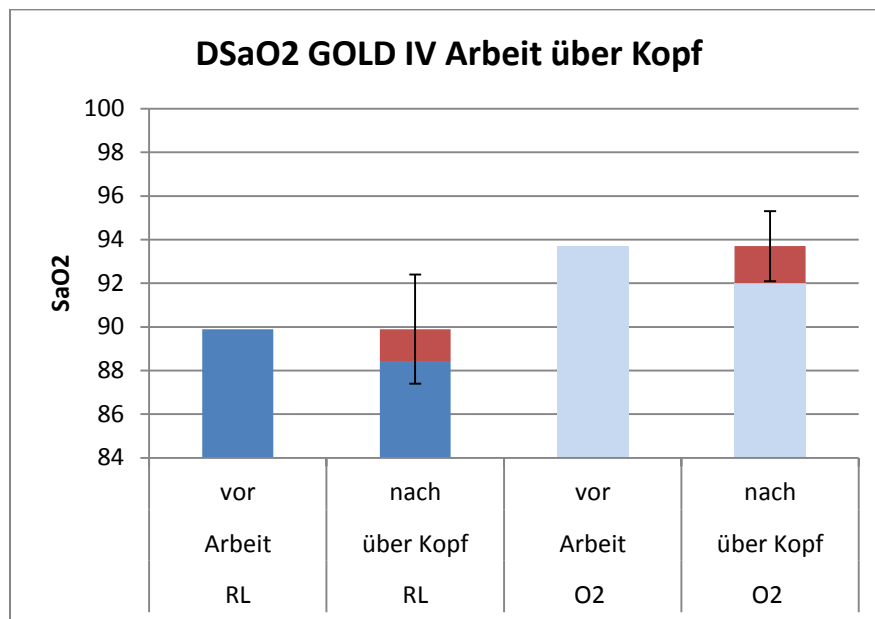


Abbildung 14:  
DSaO<sub>2</sub> bei Arbeiten  
über Kopf, Patienten  
im Stadium GOLD IV

### 3.2 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung

#### 3.2.1 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung bei bückender Tätigkeit

Die mittlere SaO<sub>2</sub> nimmt unter Sauerstoffzufuhr sowohl bei den Patienten im Stadium III (Raumluft: 91,2±2,6; O<sub>2</sub>: 94,6±2,1; p=0,01) als auch im Stadium IV (Raumluft: 88,3±3,0; O<sub>2</sub>: 92,2±3,2; p=0,01) signifikant zu.

Mittlere SaO <sub>2</sub> GOLD III Bücken		
RL	Bücken	91,2
O <sub>2</sub>	Bücken	94,6

Tabelle 4a:  
Mittlere SaO<sub>2</sub> bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im Stadium  
GOLD III

Mittlere SaO <sub>2</sub> GOLD IV Bücken		
RL	Bücken	88,3
O <sub>2</sub>	Bücken	92,2

Tabelle 4b:  
Mittlere SaO<sub>2</sub> bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV

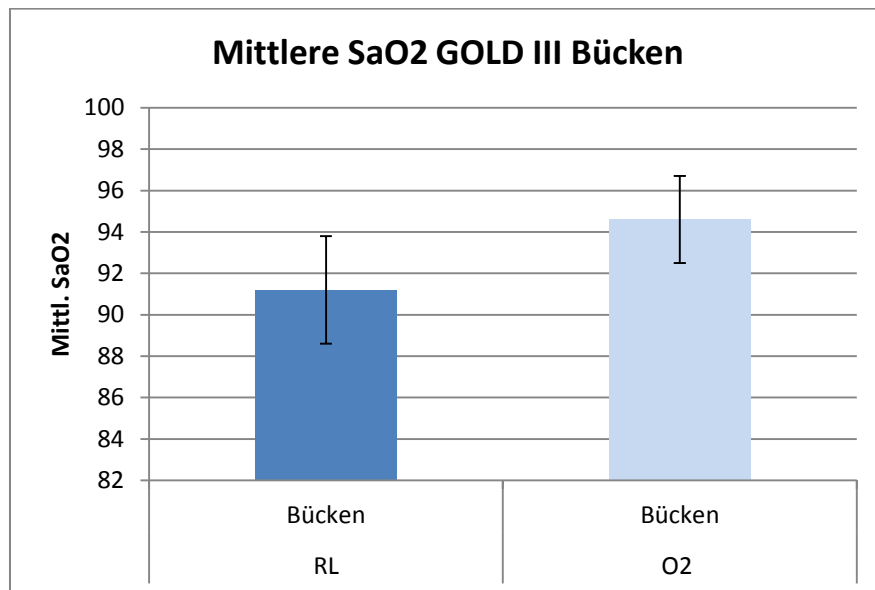


Abbildung 15:  
Mittlere SaO<sub>2</sub> bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im Stadium  
GOLD III

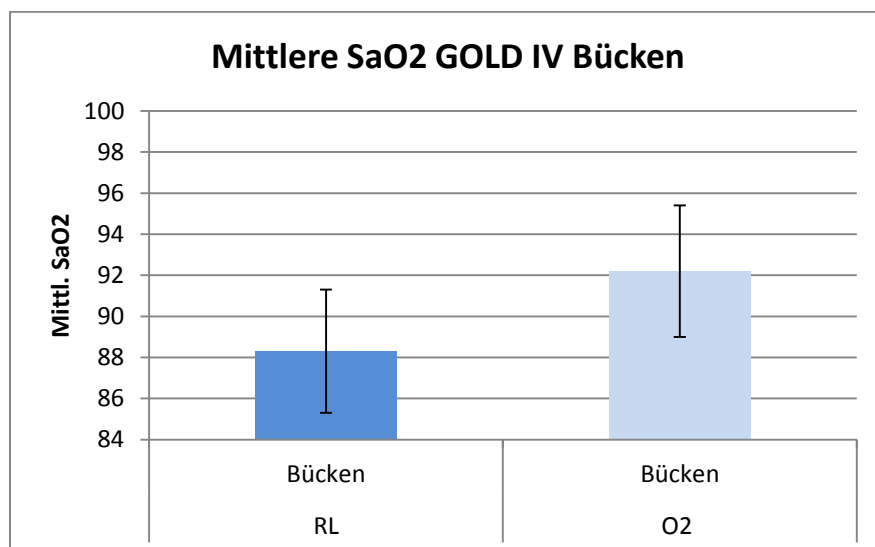


Abbildung 16:  
Mittlere SaO<sub>2</sub> bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV

### 3.2.2 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung bei Arbeiten über Kopf

Die mittlere  $S_aO_2$  nimmt unter Sauerstoffzufuhr sowohl bei den Patienten im Stadium III (Raumluf:  $92,5 \pm 2,1$ ; O<sub>2</sub>:  $95,1 \pm 1,8$ ;  $p=0,01$ ) als auch im Stadium IV (Raumluf:  $89,2 \pm 3,7$ ; O<sub>2</sub>:  $93,0 \pm 2,7$ ;  $p=0,01$ ) signifikant zu.

Mittlere  $SaO_2$  GOLD III Arbeit über Kopf

RL	Arbeit	92,5
O <sub>2</sub>	über Kopf	95,1

Tabelle 5a:  
Mittlere  $SaO_2$  bei  
Arbeiten über Kopf,  
Patienten im Stadium  
GOLD III

Mittlere  $SaO_2$  GOLD IV Arbeit über Kopf

RL	Arbeit	89,2
O <sub>2</sub>	über Kopf	93

Tabelle 5b:  
Mittlere  $SaO_2$  bei  
Arbeiten über Kopf,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV

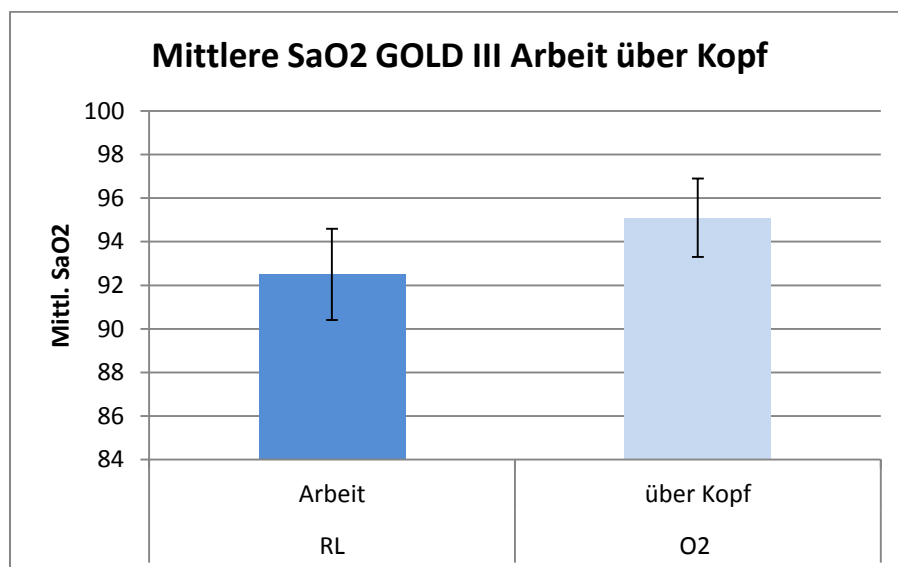


Abbildung 17:  
Mittlere  $SaO_2$  bei  
Arbeiten über Kopf,  
Patienten im Stadium  
GOLD III



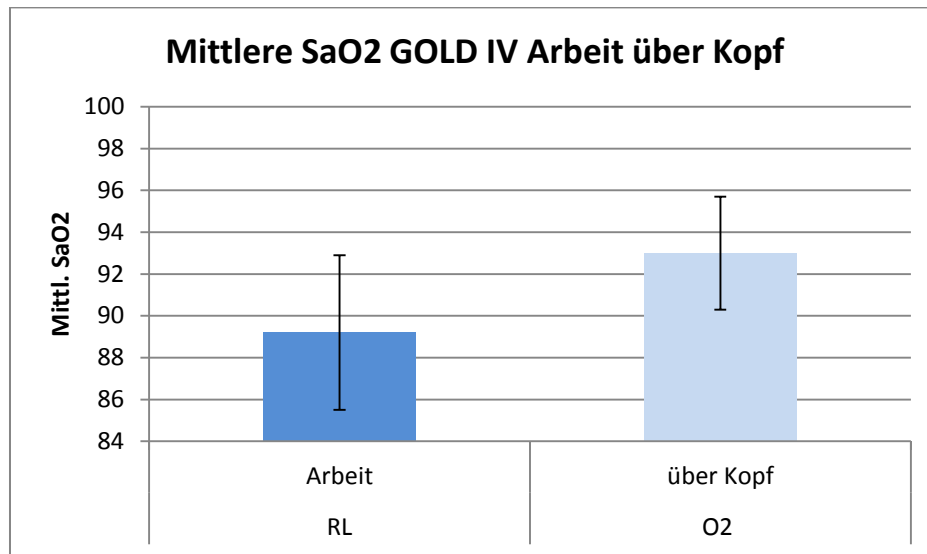


Abbildung 18:  
Mittlere SaO<sub>2</sub> bei  
Arbeiten über Kopf,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV

### 3.3 Änderung des Atemnotempfindens

#### 3.3.1 Änderung des Atemnotempfindens bei bückender Tätigkeit

Sowohl bei den Patienten im Stadium III als auch im Stadium IV zeigte sich unter Sauerstoffzufuhr keine signifikante Veränderung in der Zunahme des Atemnotempfindens DBORG (GOLD III: Raumluft:  $2,8 \pm 1,0$ ; O<sub>2</sub>:  $3,2 \pm 1,5$ ;  $p > 0,05$ ; GOLD IV: Raumluft:  $2,8 \pm 1,3$ ; O<sub>2</sub>:  $2,7 \pm 1,4$ ;  $p > 0,05$ ).

BORG GOLD III Bücken				
			BORG	DBORG
RL	Bücken	vor	3,2	
RL	Bücken	nach	6	2,8
O <sub>2</sub>	Bücken	vor	2,9	
O <sub>2</sub>	Bücken	nach	6,1	3,2

Tabelle 6a:  
BORG bei bückender  
Tätigkeit, Patienten  
im Stadium GOLD III

BORG GOLD IV Bücken				
			BORG	DBORG
RL	Bücken	vor	3,3	
RL	Bücken	nach	6,1	2,8
O <sub>2</sub>	Bücken	vor	3,4	
O <sub>2</sub>	Bücken	nach	6,1	2,7

Tabelle 6b:  
BORG bei bückender  
Tätigkeit, Patienten  
im Stadium GOLD IV

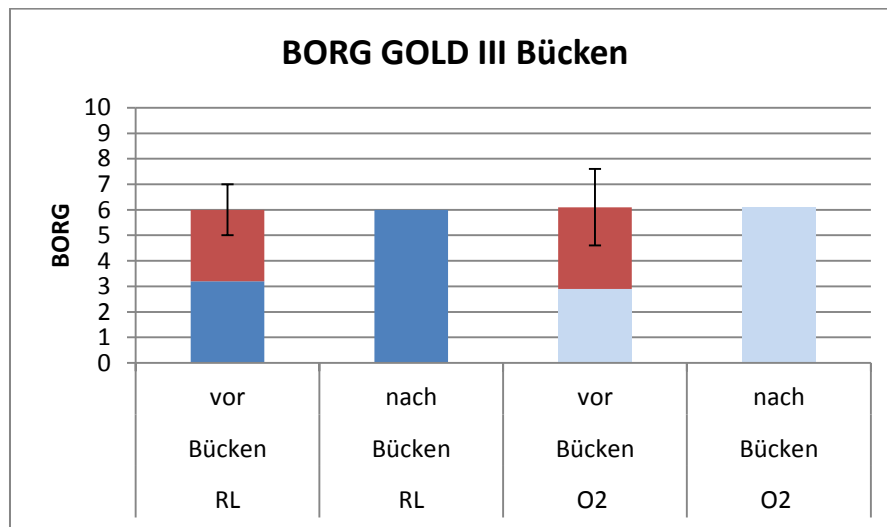


Abbildung 19:  
BORG bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im  
Stadium GOLD III

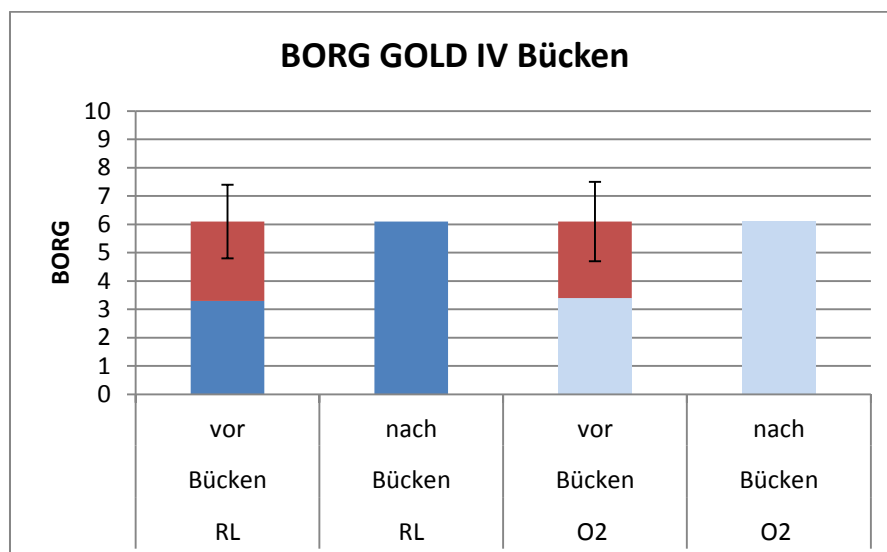


Abbildung 20:  
BORG bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im  
Stadium GOLD IV

### 3.3.2 Änderung des Atemnotempfindens bei Arbeiten über Kopf

Sowohl bei den Patienten im Stadium III als auch im Stadium IV zeigte sich unter Sauerstoffzufuhr keine signifikante Veränderung in der Zunahme des Atemnotempfindens DBORG (GOLD III: Raumluft:  $1,5 \pm 0,9$ ; O<sub>2</sub>:  $1,1 \pm 0,8$ ;  $p > 0,05$ ; GOLD IV: Raumluft:  $1,2 \pm 1,1$ ; O<sub>2</sub>:  $1,4 \pm 1,0$ ;  $p > 0,05$ ).

BORG GOLD III Arbeit über Kopf				
			BORG	DBORG
RL	Arbeit	vor	3,5	1,5
RL	über Kopf	nach	5	
O <sub>2</sub>	Arbeit	vor	3,4	1,1
O <sub>2</sub>	über Kopf	nach	4,5	

Tabelle 7a:  
BORG bei Arbeiten  
über Kopf, Patienten  
im Stadium GOLD III

BORG GOLD IV Arbeit über Kopf				
			BORG	DBORG
RL	Arbeit	vor	3,5	1,2
RL	über Kopf	nach	4,7	
O <sub>2</sub>	Arbeit	vor	3,3	1,4
O <sub>2</sub>	über Kopf	nach	4,7	

Tabelle 7b:  
BORG bei Arbeiten  
über Kopf, Patienten  
im Stadium GOLD IV

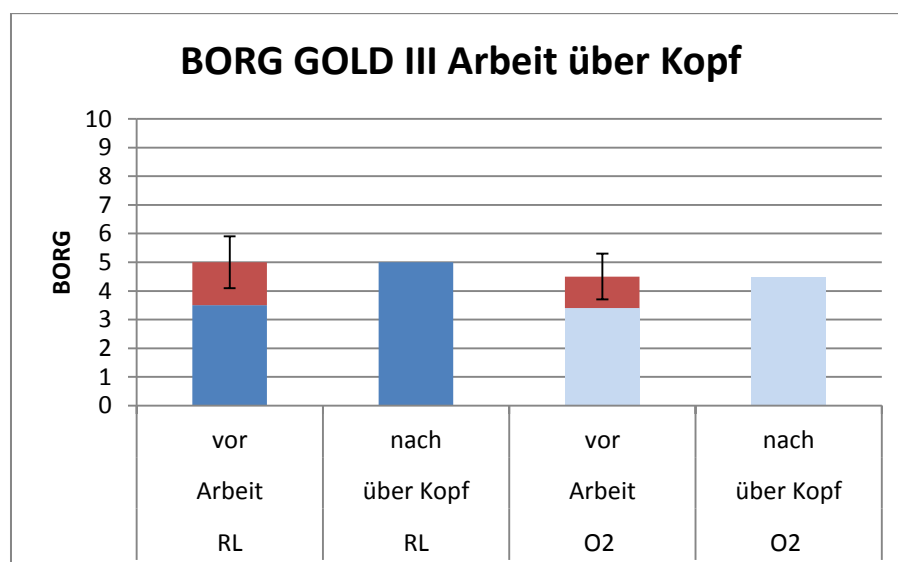


Abbildung 21:  
BORG bei Arbeiten  
über Kopf, Patienten  
im Stadium GOLD III

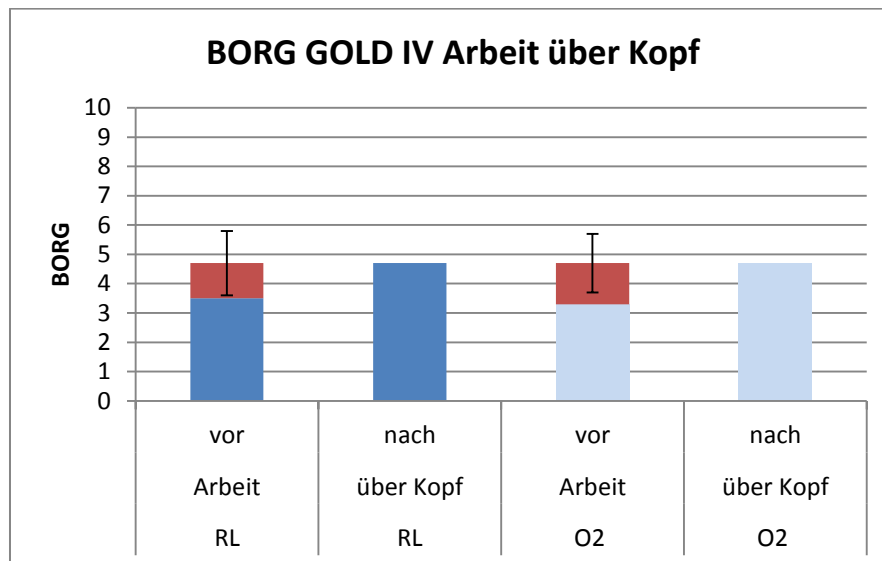


Abbildung 22:  
BORG bei Arbeiten  
über Kopf, Patienten  
im Stadium GOLD IV

### 3.3.3 Vergleich des Atemnotempfindens bei bückender Tätigkeit mit Arbeiten über Kopf

Im Stadium III als auch im Stadium IV zeigt sich sowohl unter Raumlufbedingung als auch unter Sauerstoffzufuhr beim Arbeiten über Kopf eine signifikant geringere Zunahme im Atemnotempfinden als bei bückender Tätigkeit (jeweils  $p < 0,01$ ).

BORG GOLD III Bücken/Arbeit über Kopf RL				
			BORG	DBORG
RL	Bücken	vor	3,2	2,8
RL	Bücken	nach	6	
RL	Arbeit	vor	3,5	1,5
RL	über Kopf	nach	5	

Tabelle 8a:  
Vergleich BORG bei bückender  
Tätigkeit/Arbeiten über Kopf  
bei Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III

BORG GOLD III Bücken/Arbeit über Kopf O <sub>2</sub>				
			BORG	DBORG
O <sub>2</sub>	Bücken	vor	2,9	3,2
O <sub>2</sub>	Bücken	nach	6,1	
O <sub>2</sub>	Arbeit	vor	3,4	1,1
O <sub>2</sub>	über Kopf	nach	4,5	

Tabelle 8b:  
Vergleich BORG bei bückender  
Tätigkeit/Arbeiten über Kopf  
mit O<sub>2</sub>, Patienten im Stadium  
GOLD III

BORG GOLD IV Bücken/Arbeit über Kopf RL				
			BORG	DBORG
RL	Bücken	vor	3,3	2,8
RL	Bücken	nach	6,1	
RL	Arbeit	vor	3,5	1,2
RL	über Kopf	nach	4,7	

Tabelle 8c:  
Vergleich BORG bei  
bückender Tätigkeit/Arbeiten  
über Kopf bei Raumluft,  
Patienten im Stadium GOLD  
IV

BORG GOLD IV Bücken/Arbeit über Kopf O <sub>2</sub>				
			BORG	DBORG
O <sub>2</sub>	Bücken	vor	3,4	2,7
O <sub>2</sub>	Bücken	nach	6,1	
O <sub>2</sub>	Arbeit	vor	3,3	1,4
O <sub>2</sub>	über Kopf	nach	4,7	

Tabelle 8d:  
Vergleich BORG bei  
bückender Tätigkeit/Arbeiten  
über Kopf mit O<sub>2</sub>, Patienten im  
Stadium GOLD IV

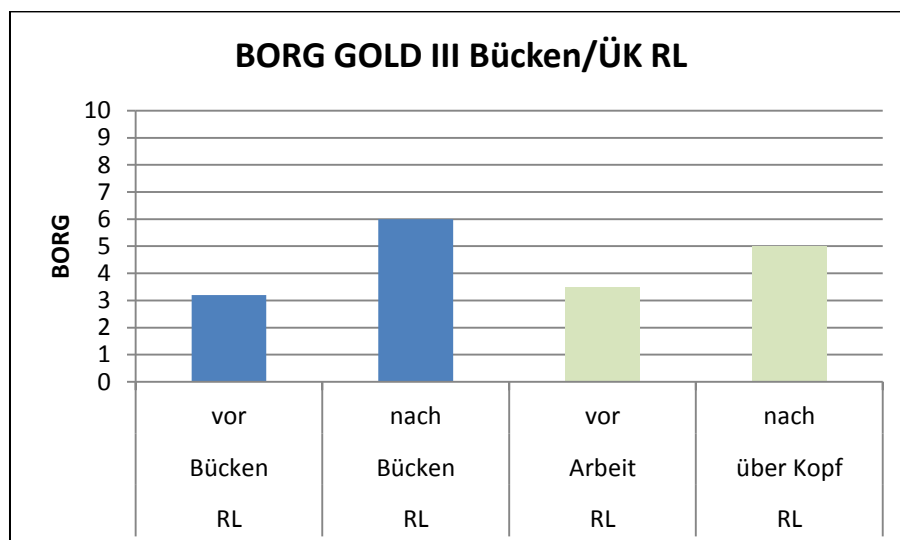


Abbildung 23:  
Vergleich BORG bei  
bückender  
Tätigkeit/Arbeiten über  
Kopf bei Raumluft,  
Patienten im Stadium  
GOLD III

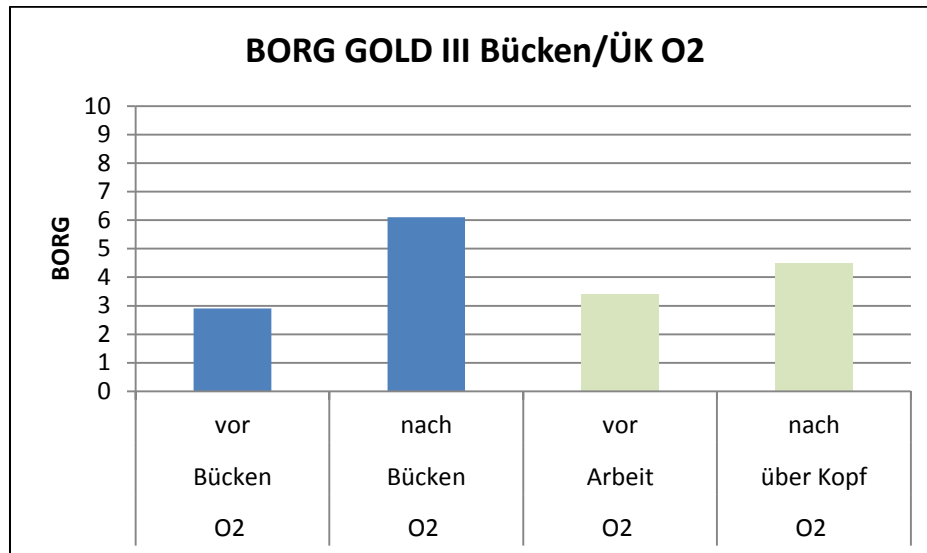


Abbildung 24:  
Vergleich BORG bei  
bückender  
Tätigkeit/Arbeiten  
über Kopf mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD III

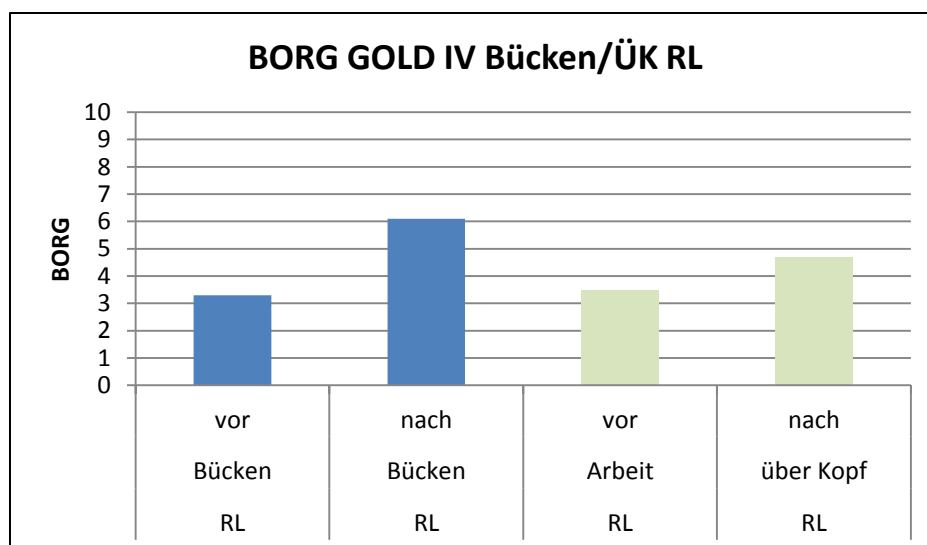


Abbildung 25:  
Vergleich BORG bei  
bückender  
Tätigkeit/Arbeiten über  
Kopf bei Raumluft,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV

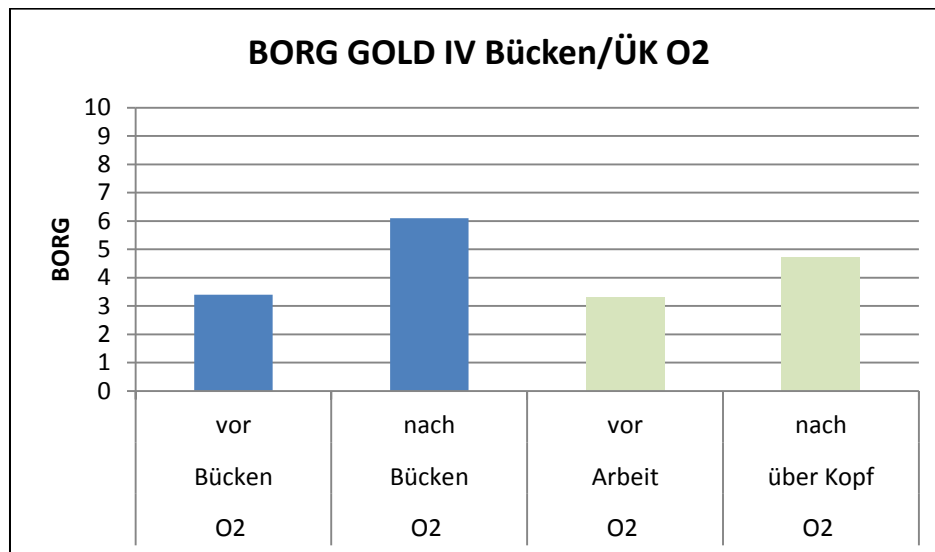


Abbildung 26:  
Vergleich BORG bei  
bückender  
Tätigkeit/Arbeiten  
über Kopf mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV

### 3.4 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit

#### 3.4.1 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit bei bückender Tätigkeit

Sowohl bei den Patienten im Stadium III als auch im Stadium IV zeigte sich unter Sauerstoffzufuhr keine signifikante Zunahme der geleisteten Aktionen im Vergleich zur Arbeit unter Raumlufbedingungen (GOLD III: Raumluf:  $20,8 \pm 6,3$ ; O<sub>2</sub>:  $20,6 \pm 6,4$ ;  $p > 0,05$ ; GOLD IV: Raumluf:  $20,6 \pm 7,3$ ; O<sub>2</sub>:  $20,6 \pm 6,8$ ;  $p > 0,05$ ).

Aktionen GOLD III Bücken		
RL	Bücken	20,8
O <sub>2</sub>	Bücken	20,6

Tabelle 9a:  
Anzahl Aktionen bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im  
Stadium GOLD III

Aktionen GOLD IV Bücken		
RL	Bücken	20,6
O <sub>2</sub>	Bücken	20,6

Tabelle 9b:  
Anzahl Aktionen bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im  
Stadium GOLD IV

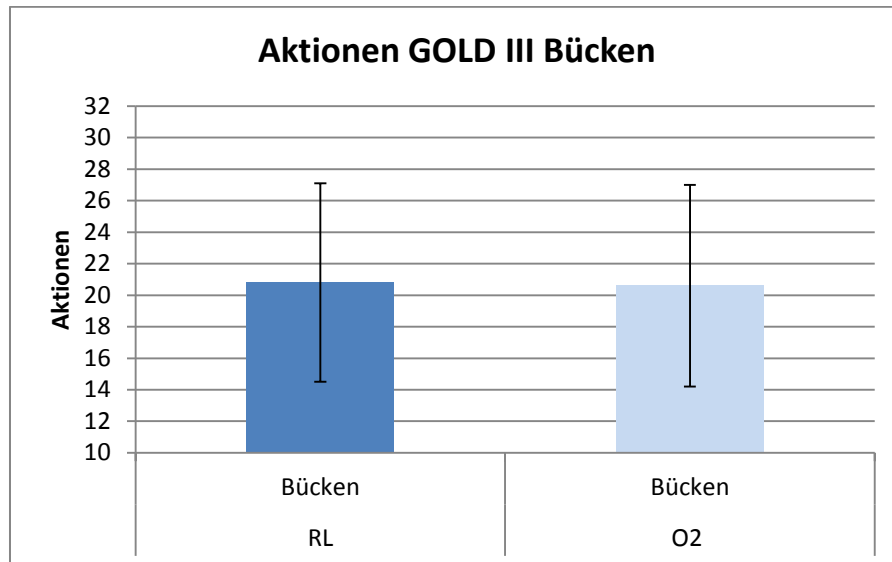


Abbildung 27:  
Anzahl Aktionen bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im Stadium  
GOLD III

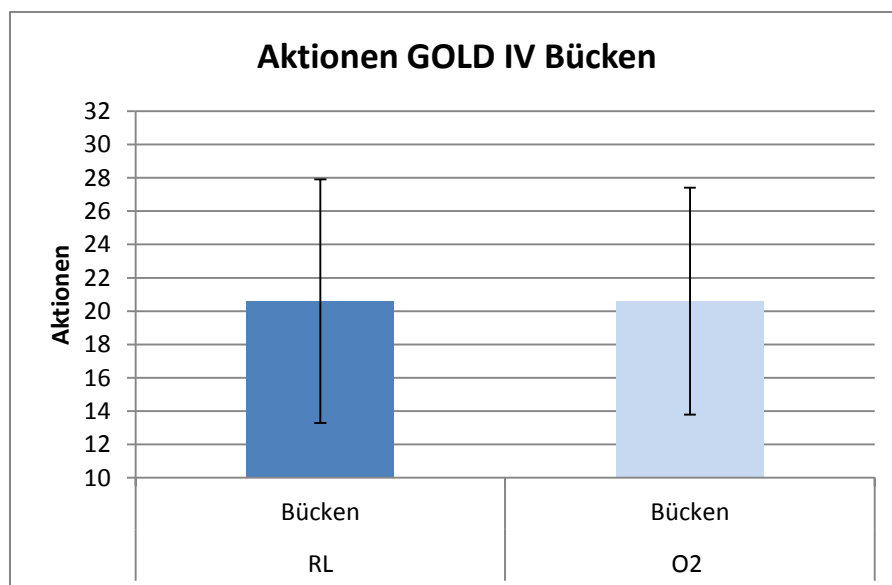


Abbildung 28:  
Anzahl Aktionen bei  
bückender Tätigkeit,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV



### 3.4.2 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit bei Arbeiten über Kopf

Sowohl bei den Patienten im Stadium III als auch im Stadium IV zeigte sich unter Sauerstoffzufuhr keine signifikante Zunahme der geleisteten Aktionen im Vergleich zur Arbeit unter Raumlufbedingungen (GOLD III: Raumluf:  $23,4 \pm 6,3$ ; O<sub>2</sub>:  $23,8 \pm 6,0$ ;  $p > 0,05$ ; GOLD IV: Raumluf:  $23,7 \pm 6,6$ ; O<sub>2</sub>:  $24,1 \pm 7,2$ ;  $p > 0,05$ ).

Aktionen GOLD III Arbeit über Kopf		
RL	Arbeit	23,4
O <sub>2</sub>	über Kopf	23,8

Tabelle 10a:  
Anzahl Aktionen bei  
Arbeiten über Kopf,  
Patienten im Stadium  
GOLD III

Aktionen GOLD IV Arbeit über Kopf		
RL	Arbeit	23,7
O <sub>2</sub>	über Kopf	24,1

Tabelle 10b:  
Anzahl Aktionen bei  
Arbeiten über Kopf,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV

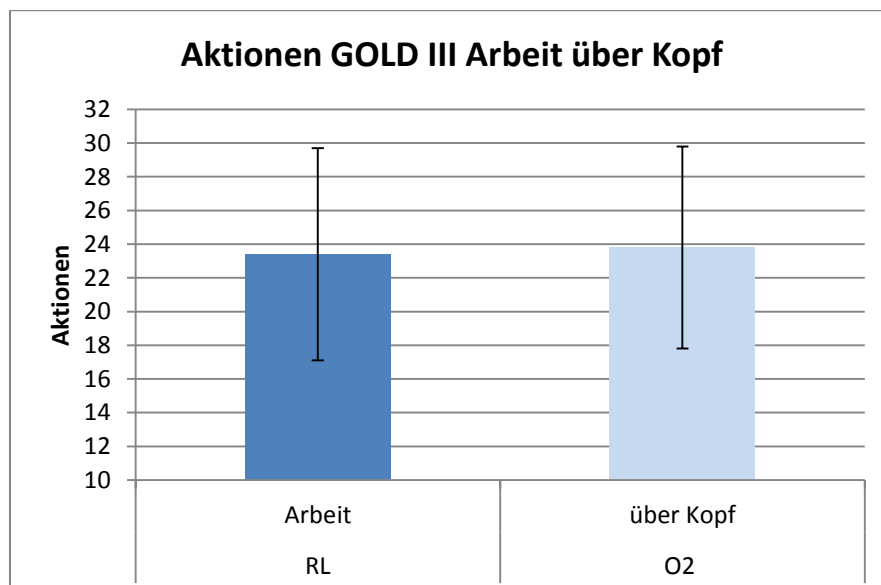


Abbildung 29:  
Anzahl Aktionen bei  
Arbeiten über Kopf,  
Patienten im  
Stadium GOLD III

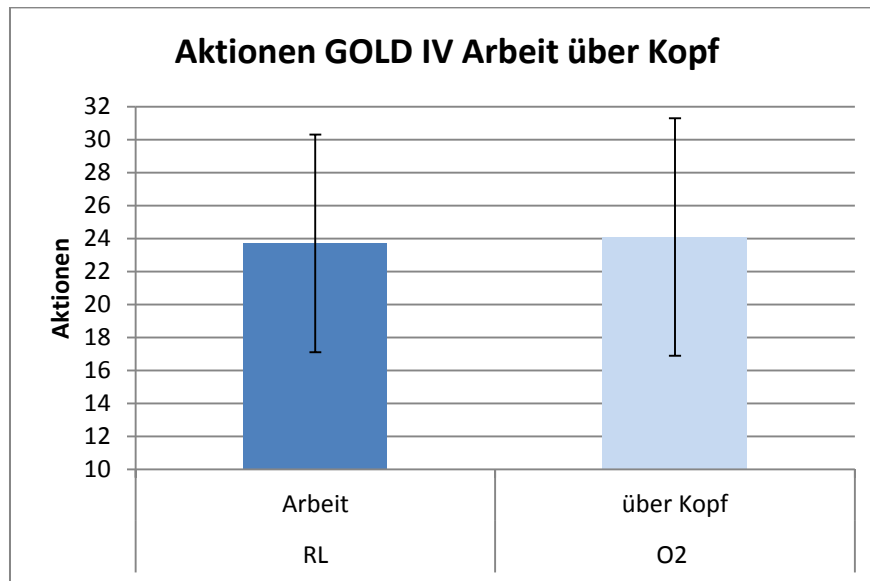


Abbildung 30:  
Anzahl Aktionen bei  
Arbeiten über Kopf,  
Patienten im Stadium  
GOLD IV

### 3.5 Vergleich der Patienten im Stadium GOLD III vs. GOLD IV

#### 3.5.1 Änderung der Sauerstoffsättigung bei bückender Tätigkeit

Die bückende Tätigkeit unter Raumlufumbedingungen führt (wie bereits in Kapitel 3.1.1 erwähnt) zu einer signifikanten Entsättigung sowohl bei den Patienten im Stadium GOLD III als auch im Stadium GOLD IV. Zwischen den beiden Patientengruppen zeigt sich unter Raumlufumbedingungen kein signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ ). Durch Sauerstoffzufuhr konnte bei den Patienten im GOLD Stadium IV die  $DSaO_2$  signifikant gesenkt werden. Im Vergleich der beiden Patientengruppen unter Sauerstoffzufuhr zeigt sich dennoch kein signifikanter Unterschied in der  $DSaO_2$  ( $p > 0,05$ ).

DSaO <sub>2</sub> GOLD III/IV Bücken RL	
	DSaO <sub>2</sub>
GOLD III	3,9
GOLD IV	5,1

Tabelle 11a:  
Vergleich DSaO<sub>2</sub> bei  
bückender Tätigkeit bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

DSaO <sub>2</sub> GOLD III/IV Bücken O <sub>2</sub>	
	DSaO <sub>2</sub>
GOLD III	2,7
GOLD IV	3,8

Tabelle 11b:  
Vergleich DSaO<sub>2</sub> bei  
bückender Tätigkeit  
mit O<sub>2</sub>, Patienten im  
Stadium GOLD III  
und IV

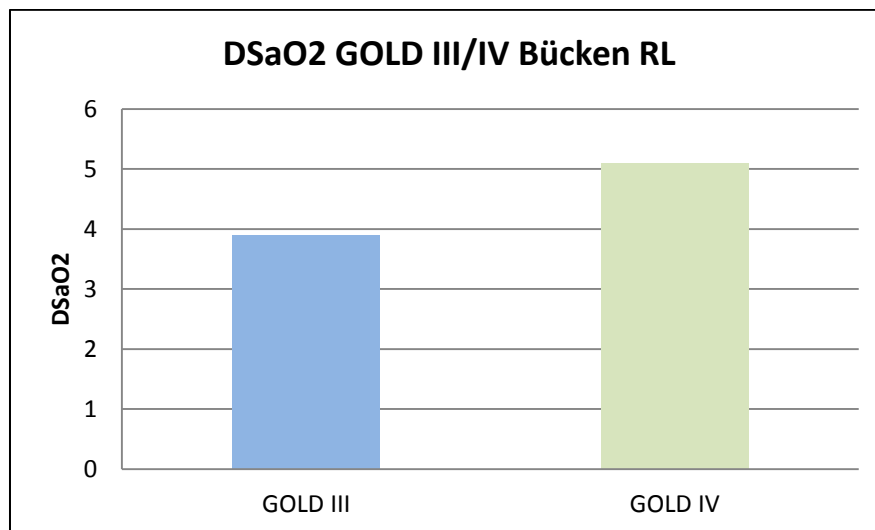


Abbildung 31:  
Vergleich DSaO<sub>2</sub> bei  
bückender Tätigkeit  
bei Raumluft,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

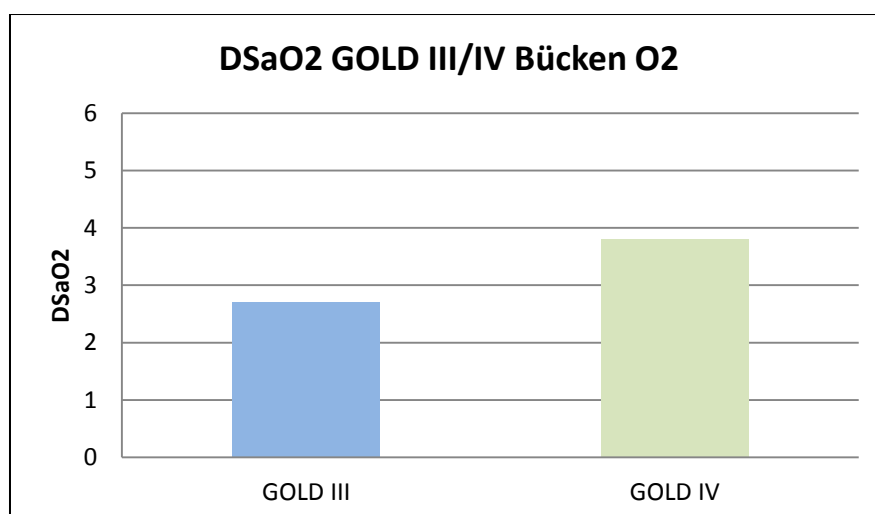


Abbildung 32:  
Vergleich DSaO<sub>2</sub> bei  
bückender Tätigkeit  
mit O<sub>2</sub>, Patienten im  
Stadium GOLD III  
und IV

### 3.5.2 Änderung der Sauerstoffsättigung bei Arbeiten über Kopf

Arbeiten über Kopf unter Raumlufbedingungen führt (wie bereits in Kapitel 3.1.2 erwähnt) zu einer signifikanten Entsättigung bei den Patienten im Stadium III, wohingegen die Entsättigung bei den Patienten im Stadium IV nicht signifikant war. Zwischen den beiden Patientengruppen zeigt sich weder unter Raumlufbedingungen noch unter Sauerstoffzufuhr ein signifikanter Unterschied in der DSaO<sub>2</sub> ( $p > 0,05$ ).

DSaO <sub>2</sub> GOLD III/IV ÜK RL	
	DSaO <sub>2</sub>
GOLD III	1,5
GOLD IV	1,5

Tabelle 12a:  
Vergleich DSaO<sub>2</sub> bei  
Arbeiten über Kopf bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

DSaO <sub>2</sub> GOLD III/IV ÜK O <sub>2</sub>	
	DSaO <sub>2</sub>
GOLD III	1,1
GOLD IV	1,7

Tabelle 12b:  
Vergleich DSaO<sub>2</sub> bei  
Arbeiten über Kopf mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

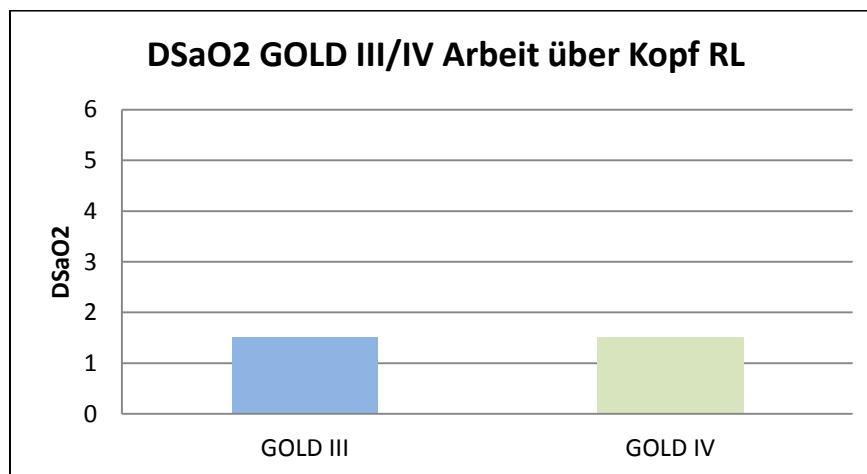


Abbildung 33:  
Vergleich DSaO<sub>2</sub> bei  
Arbeiten über Kopf bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

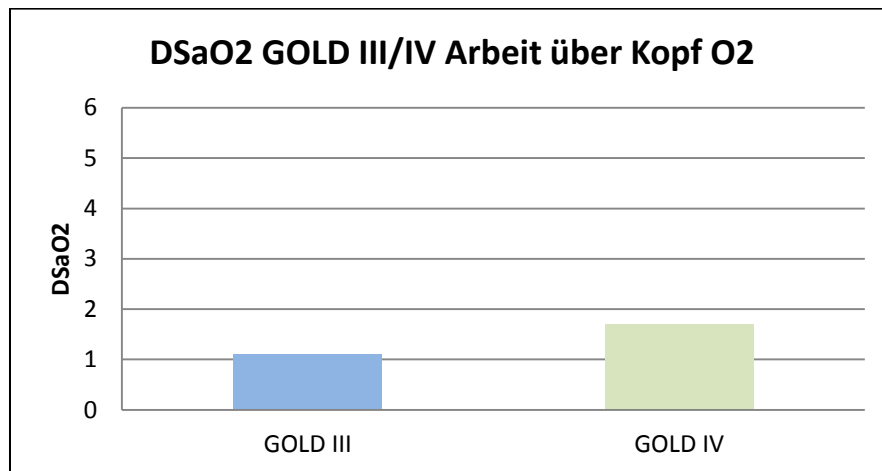


Abbildung 34:  
Vergleich DSaO<sub>2</sub> bei  
Arbeiten über Kopf  
mit O<sub>2</sub>, Patienten im  
Stadium GOLD III  
und IV

### 3.5.3 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung bei bückender Tätigkeit

Die mittlere Sauerstoffsättigung lässt sich in beiden Stadien durch Sauerstoffzufuhr signifikant steigern (siehe Kapitel 3.2.1). Vergleicht man die Patienten im Stadium III mit denen im Stadium IV, so zeigt sich sowohl unter Raumlufbedingungen ( $p < 0,03$ ) als auch unter Sauerstoffgabe ( $p < 0,03$ ) ein signifikanter Unterschied zugunsten der Patienten im Stadium GOLD III.

Mittlere SaO <sub>2</sub> GOLD III/IV Bücken RL	
	mittl. SaO <sub>2</sub>
GOLD III	91,2
GOLD IV	88,3

Tabelle 13a:  
Vergleich mittlere SaO<sub>2</sub>  
bei bückender Tätigkeit bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

Mittlere SaO <sub>2</sub> GOLD III/IV Bücken O <sub>2</sub>	
	mittl. SaO <sub>2</sub>
GOLD III	94,6
GOLD IV	92,2

Tabelle 13b:  
Vergleich mittlere SaO<sub>2</sub>  
bei bückender Tätigkeit  
mit O<sub>2</sub>, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

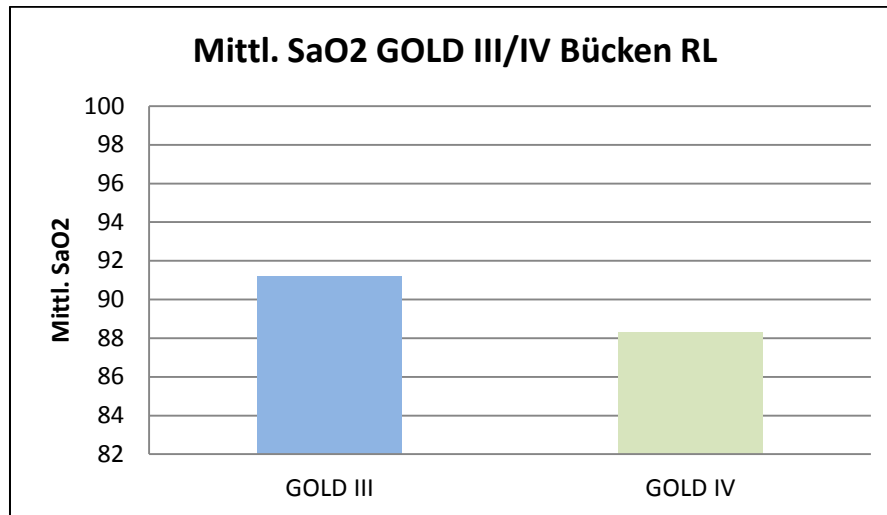


Abbildung 35:  
Vergleich mittlere  
SaO<sub>2</sub> bei bückender  
Tätigkeit bei  
Raumluf, Patienten  
im Stadium GOLD III  
und IV

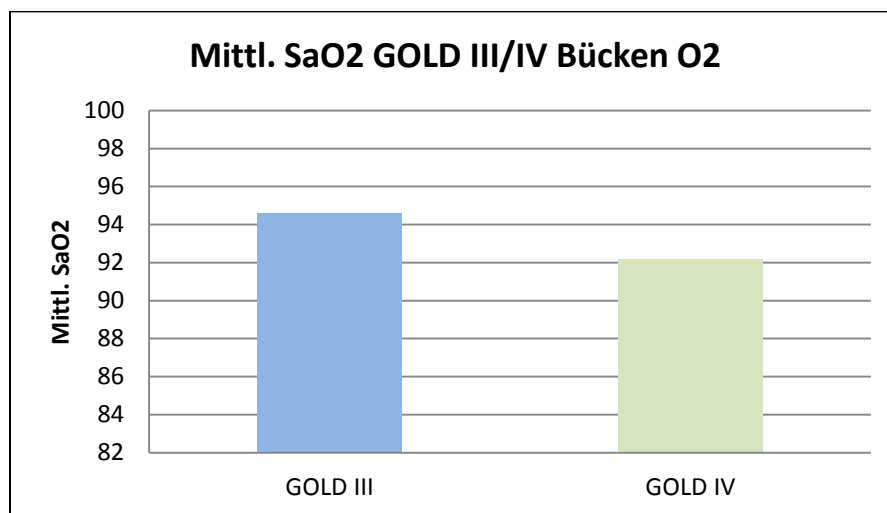


Abbildung 36:  
Vergleich mittlere  
SaO<sub>2</sub> bei bückender  
Tätigkeit mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

### 3.5.4 Änderung der mittleren Sauerstoffsättigung bei Arbeiten über Kopf

Die mittlere Sauerstoffsättigung lässt sich in beiden Stadien durch Sauerstoffzufuhr signifikant steigern (siehe Kapitel 3.2.2). Vergleicht man die Patienten im Stadium III mit denen im Stadium IV, so zeigt sich sowohl unter Raumlufbedingungen ( $p < 0,03$ ) als auch unter Sauerstoffgabe ( $p < 0,03$ ) ein signifikanter Unterschied zugunsten der Patienten im Stadium GOLD III.

Mittlere SaO <sub>2</sub> GOLD III/IV ÜK RL	
	mittl. SaO <sub>2</sub>
GOLD III	92,5
GOLD IV	89,2

Tabelle 14a:  
Vergleich mittlere SaO<sub>2</sub>  
bei Arbeiten über Kopf bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

Mittlere SaO <sub>2</sub> GOLD III/IV ÜK O <sub>2</sub>	
	mittl. SaO <sub>2</sub>
GOLD III	95,1
GOLD IV	93

Tabelle 14b:  
Vergleich mittlere SaO<sub>2</sub>  
bei Arbeiten über Kopf  
mit O<sub>2</sub>, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

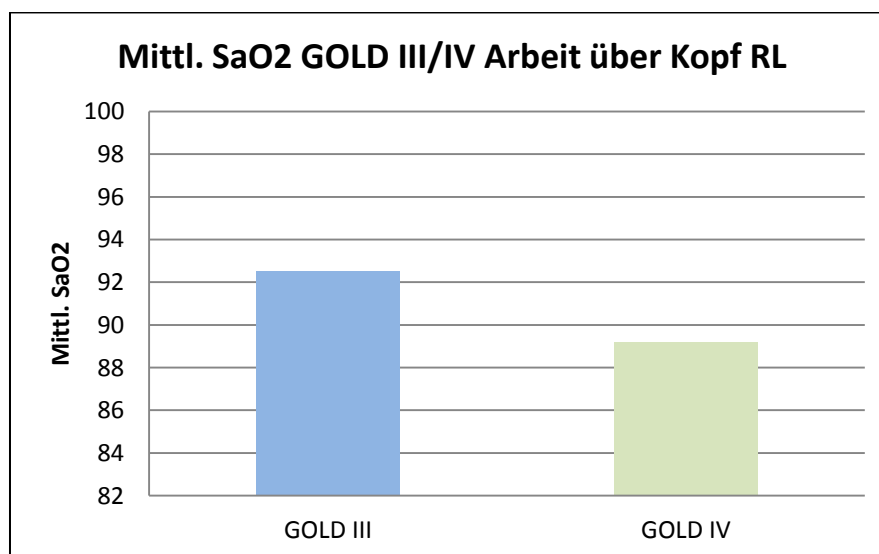


Abbildung 37:  
Vergleich mittlere  
SaO<sub>2</sub> bei Arbeiten über  
Kopf bei Raumluf,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

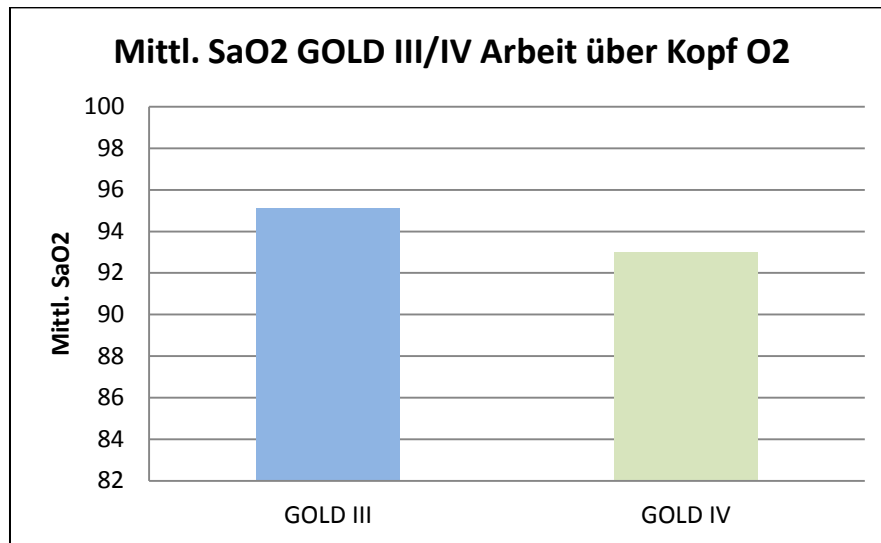


Abbildung 38:  
Vergleich mittlere  
SaO<sub>2</sub> bei Arbeiten über  
Kopf mit O<sub>2</sub>, Patienten  
im Stadium GOLD III  
und IV

### 3.5.5 Änderung des Atemnotempfindens bei bückender Tätigkeit

Wie bereits im Kapitel 3.3.1 beschrieben, zeigt sich weder im Stadium III noch im Stadium IV unter Sauerstoffzufuhr eine signifikante Abnahme im Atemnotempfinden. Vergleicht man die beiden Stadien miteinander, so zeigt sich weder unter Raumluftbedingungen ( $p > 0,05$ ) noch unter Sauerstoffzufuhr ( $p > 0,05$ ) ein signifikanter Unterschied im Atemnotempfinden.

BORG GOLD III/IV Bücken RL	
	DBORG
GOLD III	2,8
GOLD IV	2,8

Tabelle 15a:  
Vergleich DBORG  
bückende Tätigkeit bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

BORG GOLD III/IV Bücken O <sub>2</sub>	
	DBORG
GOLD III	3,2
GOLD IV	2,7

Tabelle 15b:  
Vergleich DBORG  
bückende Tätigkeit mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV



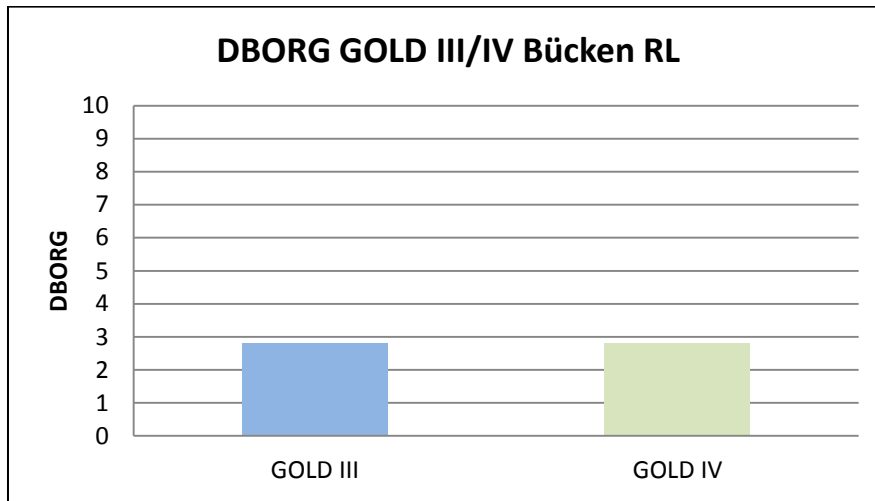


Abbildung 39:  
Vergleich DBORG  
bückende Tätigkeit bei  
Raumluft, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

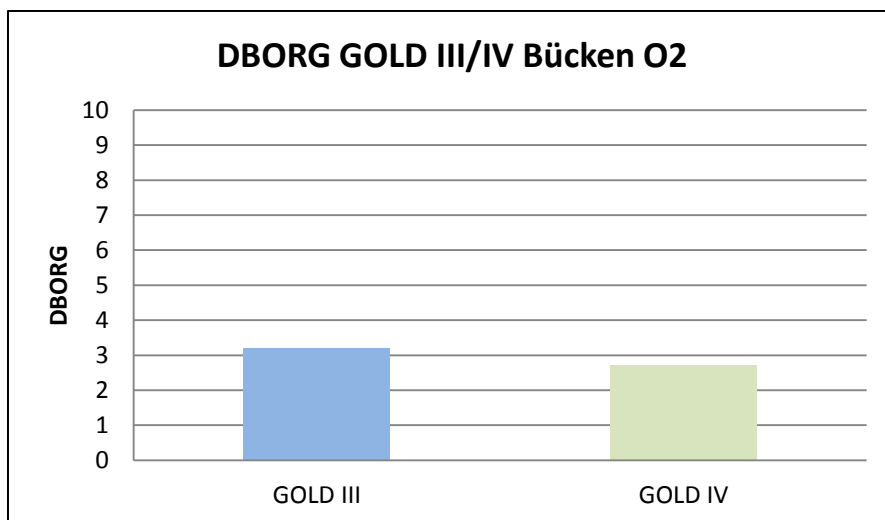


Abbildung 40:  
Vergleich DBORG  
bückende Tätigkeit mit  
O<sub>2</sub>, Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

### 3.5.6 Änderung des Atemnotempfindens bei Arbeiten über Kopf

Wie bereits im Kapitel 3.3.2 beschrieben, zeigt sich weder im Stadium III noch im Stadium IV unter Sauerstoffzufuhr eine signifikante Abnahme im Atemnotempfinden. Vergleicht man die beiden Stadien miteinander, so zeigt sich weder unter Raumluftbedingungen ( $p>0,05$ ) noch unter Sauerstoffzufuhr ( $p>0,05$ ) ein signifikanter Unterschied im Atemnotempfinden.

BORG GOLD III/IV ÜK RL DBORG	
GOLD III	1,5
GOLD IV	1,2

Tabelle 16a:  
Vergleich DBORG  
Arbeiten über Kopf bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

BORG GOLD III/IV ÜK O <sub>2</sub> DBORG	
GOLD III	1,1
GOLD IV	1,4

Tabelle 16b:  
Vergleich DBORG  
Arbeiten über Kopf mit  
O<sub>2</sub>, Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

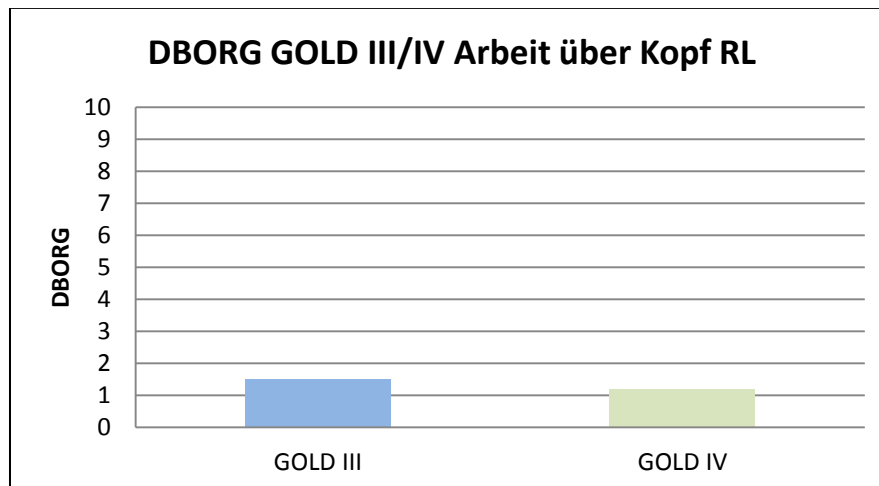


Abbildung 41:  
Vergleich DBORG  
Arbeiten über Kopf bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

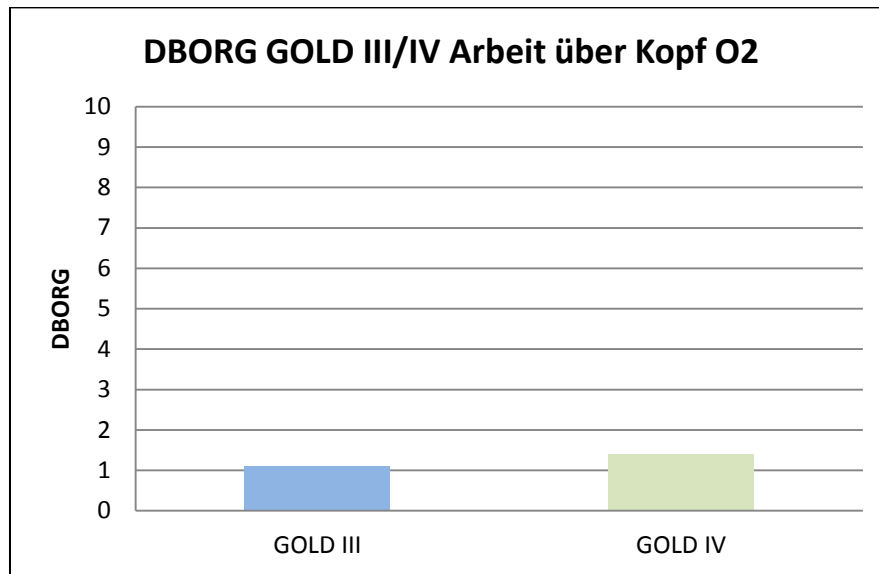


Abbildung 42:  
Vergleich DBORG  
Arbeiten über Kopf mit  
O<sub>2</sub>, Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

### 3.5.7 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit bei bückender Tätigkeit

Wie bereits in Kapitel 3.4.1 beschrieben, führt Sauerstoffzufuhr weder im Stadium III noch im Stadium IV zu einer signifikanten Verbesserung der Arbeitsleistung verglichen mit Raumlufbedingungen. Vergleicht man die beiden Stadien miteinander, so zeigt sich weder unter Raumlufbedingungen ( $p > 0,05$ ) noch unter Sauerstoffzufuhr ( $p > 0,05$ ) ein signifikanter Unterschied zwischen den Stadien GOLD III und GOLD IV.

Aktionen GOLD III/IV Bücken RL	
Aktionen	
GOLD III	20,8
GOLD IV	20,6

Tabelle 17a:  
Vergleich Aktionen bei  
bückender Tätigkeit bei  
Raumluf, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

Aktionen GOLD III/IV Bücken O <sub>2</sub>	
Aktionen	
GOLD III	20,6
GOLD IV	20,6

Tabelle 17b:  
Vergleich Aktionen bei  
bückender Tätigkeit mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

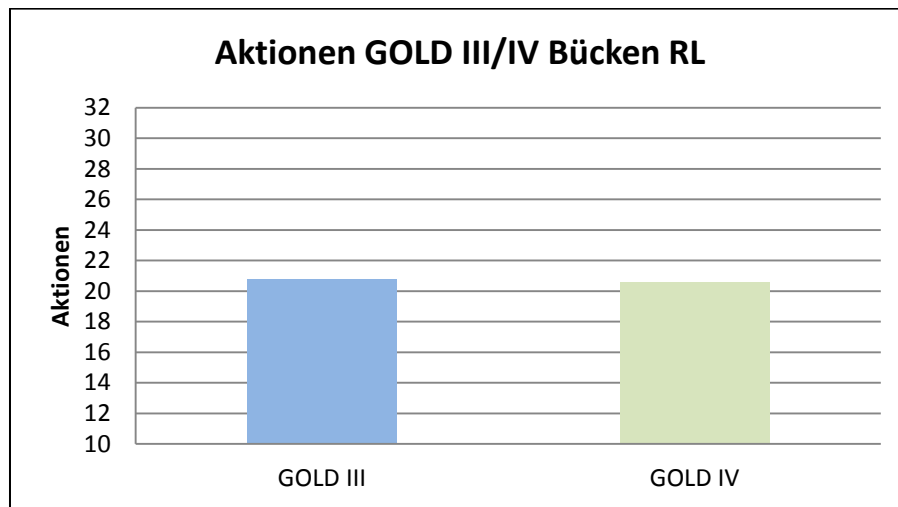


Abbildung 43:  
Vergleich Aktionen  
bei bückender  
Tätigkeit bei  
Raumlufte, Patienten  
im Stadium GOLD III  
und IV

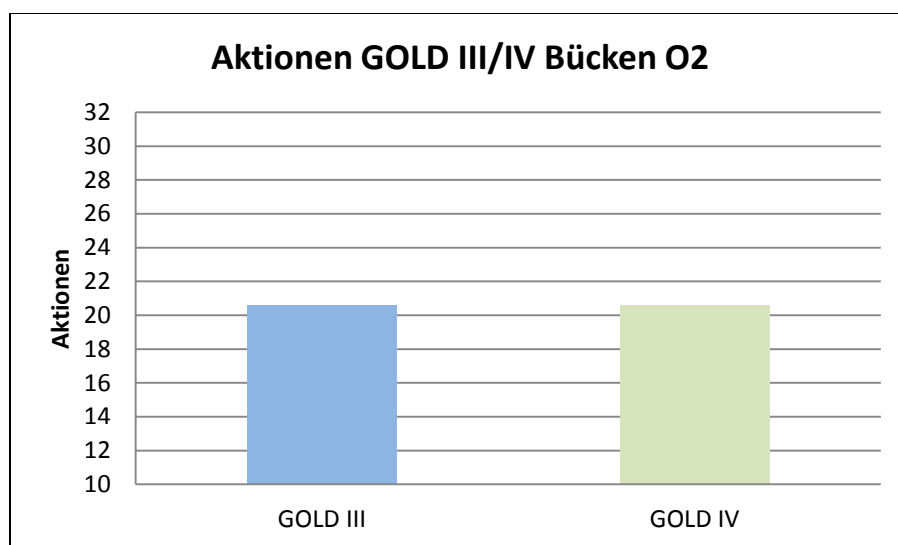


Abbildung 44:  
Vergleich Aktionen  
bei bückender  
Tätigkeit mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

### 3.5.8 Anzahl der geleisteten Aktionen pro Zeiteinheit bei Arbeiten über Kopf

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 beschrieben, führt Sauerstoffzufuhr weder im Stadium III noch im Stadium IV zu einer signifikanten Verbesserung der Arbeitsleistung verglichen mit Raumluftbedingungen. Vergleicht man die beiden Stadien miteinander, so zeigt sich weder unter Raumluftbedingungen ( $p>0,05$ ) noch unter Sauerstoffzufuhr ( $p>0,05$ ) ein signifikanter Unterschied zwischen den Stadien GOLD III und GOLD IV.

Aktionen GOLD III/IV ÜK RL	
	Aktionen
GOLD III	23,4
GOLD IV	23,7

Tabelle 18a:  
Vergleich Aktionen bei  
Arbeiten über Kopf bei  
Raumluft, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

Aktionen GOLD III/IV ÜK O <sub>2</sub>	
	Aktionen
GOLD III	23,8
GOLD IV	24,1

Tabelle 18b:  
Vergleich Aktionen bei  
Arbeiten über Kopf mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

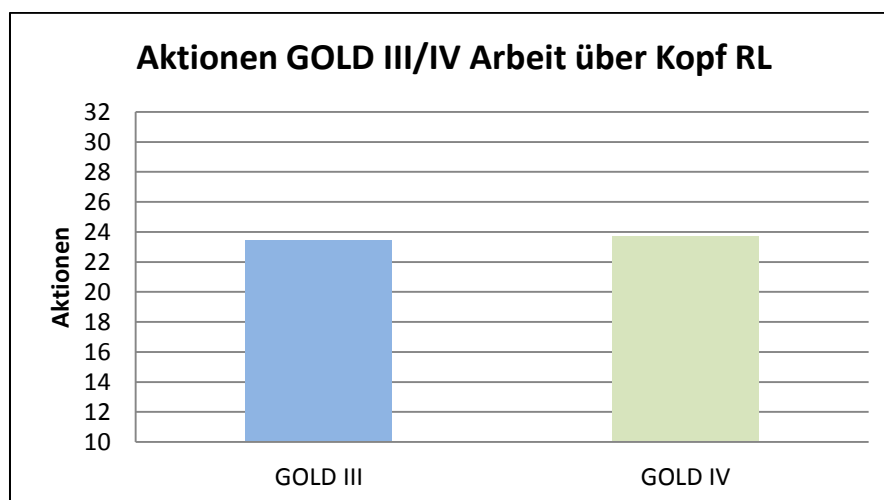


Abbildung 45:  
Vergleich Aktionen bei  
Arbeiten über Kopf bei  
Raumluft, Patienten im  
Stadium GOLD III und IV

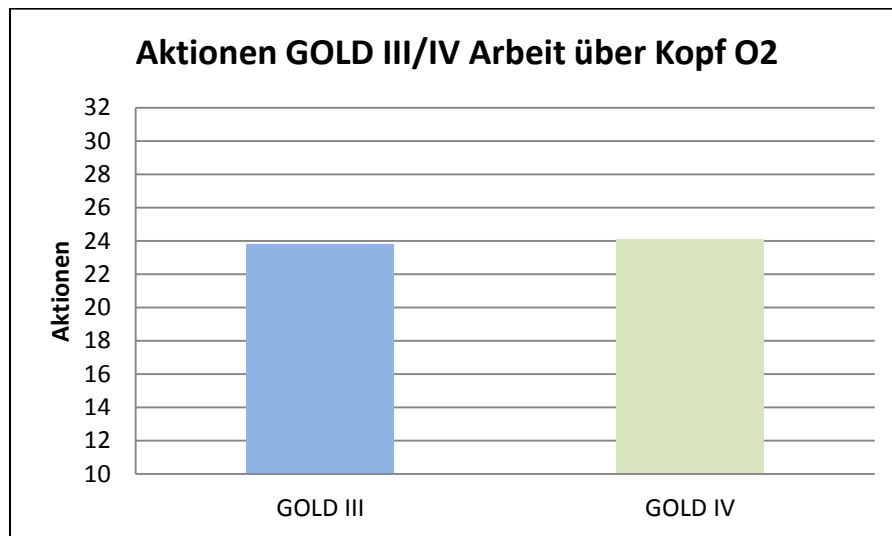


Abbildung 46:  
Vergleich Aktionen  
bei Arbeiten über  
Kopf mit O<sub>2</sub>,  
Patienten im Stadium  
GOLD III und IV

## 4. Diskussion

### *4.1 Die COPD als komplexe systemische Erkrankung: Ein neues Krankheitsverständnis, neue therapeutische Optionen*

Die chronisch obstruktive Atemwegserkrankung wird mittlerweile nicht mehr als solitäre pulmonale Erkrankung betrachtet. Die diffuse Inflammation und der oxidative Stress werden nicht nur für die Destruktion und nachfolgende Überblähung des Lungengewebes verantwortlich gemacht, sondern auch für die Manifestation in anderen Organsystemen [5, 27]. So korreliert das C-reaktive Protein mit der Morbidität und Mortalität [18], der Tumornekrosefaktor- $\alpha$ , ein proinflammatorisches Schlüsselzytokin, korreliert mit dem häufig bei COPD auftretenden Gewichtsverlust [21]. Der Gewichtsverlust betrifft etwa die Hälfte aller Patienten mit schwerer COPD und ist vorwiegend auf den Verlust von Muskelmasse zurückzuführen [55], hieraus resultiert eine zusätzliche Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Zudem tritt gehäuft – auch unabhängig von einer Steroidmedikation – eine Osteoporose auf [40]. Auch das kardiovaskuläre Risiko ist im Rahmen einer COPD durch eine systemische endotheliale Dysfunktion mit Wandsteife der Arterien [37] erhöht. Die systemische Inflammation verursacht außerdem mit die Anämie, unter der etwa 23 Prozent der Patienten leiden [32]. Im Rahmen einer COPD treten gehäuft psychiatrische Symptome wie Depressionen oder Angststörungen auf [65].

Die medikamentöse Therapie der COPD wiederum kann die systemische Symptomatik aufgrund ihrer Nebenwirkungen verstärken: Die Steroidtherapie fördert die Entstehung der begleitenden Osteoporose sowie der Myopathie und begünstigt eine diabetische Stoffwechsellage. Die Gabe von Bronchodilatoren kann kardiale Tachyarrhythmien verursachen, Anticholinergika erhöhen das Risiko für erhöhten Augeninnendruck sowie Miktionsstörungen.

Entsprechend den vielfältigen und unterschiedlichen Symptomausprägungen umfassen die therapeutischen Möglichkeiten verschiedene Ansatzpunkte, die sowohl medikamentöse als auch supportive physikalische Maßnahmen beinhalten.

Therapeutisch steht an erster Stelle die sofortige und vollständige Karenz eines bestehenden Nikotinkonsums. Hierdurch wird die Abnahme der FEV1 positiv beeinflusst [4], die Inflammation schreitet allerdings fort [30]. Medikamentös lässt sich die Erkrankung wie

bereits erwähnt durch Bronchodilatoren, Anticholinergika, inhalative und bzw. oder systemische Steroide beeinflussen.

Als bedeutendste nicht pharmakologische Maßnahme steht die Sauerstoff-Langzeittherapie zur Verfügung, hierzu wird auf die Ausführungen auf Seite 49 der vorliegenden Arbeit verwiesen.

Auch chirurgische Interventionen können bei ausgewählten Patienten eine Linderung der Symptome bewirken: So kann durch die Resektion großer Bullae (Volumen größer 1/3 der betroffenen Lunge) eine Dekompression der benachbarten Lungenabschnitte mit Verbesserung der Dyspnoe erreicht werden [42].

Einen ähnlichen therapeutischen Ansatz verfolgt ein Verfahren, das initial von Cooper et al. vorgestellt wurde [15]. Es beinhaltet eine Resektion von überblähten Lungenparenchymabschnitten. Somit hat das weniger geschädigte Lungenparenchym mehr Raum zur Ausdehnung und es resultiert eine verbesserte Ventilation. Die NETT-Studie [44] hatte gezeigt, dass jedoch nur Patienten mit einem Oberlappen-betonten Emphysem diesem Eingriff unterzogen werden sollten. Die Patienten profitieren durch verbesserte Belastbarkeit, gesenkte Exazerbationshäufigkeit und verlängerte Überlebenszeit [45, 62].

Auf Grundlage der NETT-Studie wurde als Alternative zur chirurgischen Intervention die endobronchiale Implantation kleiner Ventile mit nachfolgendem Kollaps der Lappensegmente entwickelt, um eine Volumenreduktion der überblähten Abschnitte zu erreichen. Über den funktionellen Effekt existieren widersprüchliche Ergebnisse [61, 63]. Eine Kollateralventilation kann den therapeutischen Erfolg deutlich beeinträchtigen. Durch eine neu entwickelte, endoskopische Messung des interlobularen Luftstromes kann eine solche Kollateralventilation diagnostiziert werden [2].

Aus dem Prinzip der Kollateralventilation wurde als neuer Therapieansatz das Konzept des „Airway Bypass“ entwickelt. Hier werden überblähte Lungenabschnitte über drug-eluting stents (beschichtet mit Paclitaxel) mit den Bronchien verbunden. Erste Studienergebnisse zeigen eine funktionelle Verbesserung der behandelten Patienten [9]. Die Ergebnisse des aktuellen „Ease Trial“ zur Erforschung von Sicherheit und therapeutischem Nutzen der Stents waren bei Erstellung der vorliegenden Arbeit noch nicht verfügbar.

Eine Lungentransplantation verbessert zwar die Lebensqualität und die körperliche Leistungsfähigkeit [53, 59], eine Verlängerung der Überlebenszeit ist jedoch fraglich [19, 58]. Das Verfahren ist vor allem begrenzt durch den Mangel an Spenderorganen.



#### *4.2 Prognose der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung unter Sauerstofftherapie*

Zwei viel zitierte Studien zeigten einen signifikanten Überlebensvorteil von Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung unter Sauerstoff-Langzeit-Therapie [41, 46]. Jedoch wurde hier der Überlebensvorteil nur für Patienten mit einem  $p_{aO_2}$  kleiner 55 mmHg belegt. Eine zusätzliche Hyperkapnie unter der Sauerstoff-Therapie scheint ein prognostisch günstiger Faktor zu sein („permissive“ Hyperkapnie durch verminderte Atemarbeit) [12] bzw. scheint keinen negativen Einfluss auf das Überleben zu haben [1]. Patienten mit einem  $p_{aO_2}$  größer 55 mmHg scheinen bezüglich der Überlebenszeit nicht von einer Sauerstoff-Langzeit-Therapie zu profitieren [13, 29]. Allerdings ist die Studie von Chaouat et al. in ihrer Aussagekraft dadurch eingeschränkt, dass die Sauerstoffgabe nur nachts erfolgte.

#### *4.3 Sauerstofftherapie – Eine Übersicht über die Studienlage und Diskussion der eigenen Ergebnisse mit der Literatur*

Als Grundlage für die folgende Diskussion seien die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Studie nochmals zusammengefasst:

Unter beiden untersuchten Alltagstätigkeiten kommt es (mit den Ausnahmen: Arbeiten über Kopf unter Raumlufbedingungen, Stadium IV und Bücken unter Sauerstoffzufuhr, Stadium IV) zu einer signifikanten Entsättigung, dies auch unter einer Sauerstoff-Flussrate von 2 Liter pro Minute. Lediglich die mittlere Sauerstoffsättigung wird durch Sauerstoff-Zufuhr in beiden Gruppen bei beiden Tätigkeiten signifikant erhöht. Dennoch konnten weder bei den Patienten im Stadium III noch im Stadium IV eine signifikante Zunahme der Aktionen pro Zeit oder eine signifikante Abnahme des Atemnotempfindens durch die Sauerstoff-Zufuhr im Vergleich zur Tätigkeit unter Raumluf erreicht werden. Auch zeigt sich bezüglich dieser beiden Parameter kein signifikanter Unterschied zwischen den Stadien III und IV. Diese Ergebnisse überraschen, würde man doch von einem Nutzen der Sauerstoff-Zufuhr ausgehen. Zudem wird ja im klinischen Alltag eine häusliche Sauerstoff-Langzeittherapie (bei bestehender Indikation) verordnet, um den Patienten das Alltagsleben zu erleichtern, das heißt, die körperliche Belastbarkeit zu erhöhen.

Die bereits erwähnten Studien der Nocturnal Oxygen Therapy Trial Group sowie der Medical Research Council Working Party zeigten einen signifikanten Überlebensvorteil von Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung und schwerer Ruhehypoxämie unter

Sauerstoff-Langzeit-Therapie [41, 46], dies jedoch nur bei einer Nutzung von mindestens 15 Stunden täglich.

Bezüglich des Nutzens der Sauerstoff-Therapie in Hinsicht auf Ausdauer und Atemnotempfinden unter Belastung sind bereits einige Studien durchgeführt worden, die jedoch zu widersprüchlichen Ergebnissen kamen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden auch von anderen Studien bestätigt. So beschreiben Nonoyama et al. bei normoxämischen Patienten unter Sauerstoff-Gabe zwar eine geringe Verlängerung der Trainingsdauer und eine geringe Abnahme der Atemnot gemessen an der BORG-Skala, es zeigten sich jedoch keine signifikanten Änderungen in der Arbeitsleistung, der Oxygenierung oder der Lebensqualität [47]. Sandland et al. berichten über fehlenden Nutzen der kontinuierlichen Sauerstoffgabe (2 L/Min.) im Vergleich zu Raumluft mit fehlender Zunahme an körperlicher Aktivität, Lebensqualität oder Zeit außerhalb der Wohnung. In dieser Studie handelte es sich um Patienten mit Ruhehypoxämie oder Entsättigung unter Belastung, die Fallzahl war mit 20 Patienten relativ klein [54].

Auch in der Studie von Lacasse et al. profitierten die Patienten nicht von einer mobilen häuslichen Sauerstoffversorgung (mit Demand-System, unterschiedliche O<sub>2</sub>-Flussraten), die Endpunkte Ausdauer, Lebensqualität und tägliche Nutzungsdauer waren nicht besser im Vergleich zu Placebo. Auch diese Studie bezog sich allerdings auf eine relativ kleine Fallzahl von 24 Patienten [36].

Die Gabe von Sauerstoff (2 L/Min.) vor oder nach Belastung („short-burst oxygen therapy“) bei 78 normoxämischen Patienten erbrachte keinen Vorteil im Hinblick auf Lebensqualität oder die Häufigkeit medizinischer Notfälle [23].

Auch in der Studie von Nandi et al. (Patienten mit Ruhehypoxämie) ergab sich kein Nutzen der Sauerstoffgabe (FiO<sub>2</sub> 0,28) vor (34 Patienten) bzw. nach (18 Patienten) körperlicher Anstrengung in Hinsicht auf Leistung oder Atemnotempfinden [43].

Stevenson et al. untersuchten den Effekt von Sauerstoff bzw. Placebo nach maximaler Belastung auf dem Fahrradergometer. Sauerstoff (FiO<sub>2</sub> 0,4) verminderte zwar signifikant die dynamische Hyperinflation, verkürzte aber nicht die Erholungszeit im Vergleich zu Placebo. Auch in dieser Studie liegt nur eine geringe Fallzahl (18 Patienten) vor [57].

In zwei Studien von Bradley et al. konnte unter Sauerstoffzufuhr („short-burst“) eine geringgradige Zunahme der Gehstrecke und geringgradige Abnahme des Atemnotempfindens (anhand der BORG-Skala) nachgewiesen werden. Es ist allerdings unklar, ob diese

Veränderungen für den klinischen Verlauf relevant sind. Die Autoren fordern weitere Studien mit größeren Fallzahlen und Patienten in unterschiedlichen Stadien der Erkrankung [7, 8].

Andere Studien wiederum beschreiben eindeutig eine Verbesserung von Dyspnoe und Leistung unter Sauerstoff-Gabe:

Killen et al. berichten über eine Besserung des Atemnotempfindens durch Sauerstoffgabe bei 18 normoxämischen Patienten, verabreichten in ihrer Studie den Sauerstoff (2L/Min.) aber nur vor bzw. nach körperlicher Anstrengung [34].

Emtner et al. beschreiben unter einer Sauerstoff-Flussrate von 3 Litern pro Minute bei normoxämischen Patienten eine Zunahme von Trainingsintensität und Ausdauer sowie eine Abnahme der Atemfrequenz beim Training mit einem Fahrradergometer. In die Studie einbezogen waren jedoch lediglich 29 Patienten [25]. O'Donnell et al. bestätigen dies bei 11 Patienten mit Ruhehypoxämie, verwenden in ihrer Studie aber ebenfalls höhere Sauerstoff-Flussraten ( $\text{FiO}_2$  0,6) [48]. Auch in der Studie von Somfay et al. profitieren normoxämische Patienten dosis-abhängig von Sauerstoff, mit einer Verbesserung von Ausdauer und Symptomatik bei der Ergometrie. Die optimale Flussrate lag hier bei einer inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion von 50 Prozent. Auch in dieser Studie war das untersuchte Kollektiv mit 10 Patienten (verglichen mit 7 gesunden Probanden) sehr klein [56]. In der Studie von Peters et al. wurde zusätzlich zur Sauerstoff-Fraktion von 50 Prozent ein inhalativer Bronchodilatator verabreicht, es zeigte sich ein synergistischer Effekt durch eine verminderte Hyperinflation und eine reduzierte Atemarbeit. Es resultierte eine signifikant bessere Leistung der 16 normoxämischen Patienten in der Fahrradergometrie verglichen mit Raumluft, Raumluft und Placebo oder Sauerstoff allein [50]. In anderen Studien wurde der Sechs-Minuten-Gehtest (6MWT) als Belastungsform ausgewählt: So konnten Jolly et al. zeigen, dass normoxämische Patienten mit belastungsinduzierter Entsättigung unter Raumluftbedingungen bei Sauerstoffzufuhr (Fluss bis 12 Liter pro Minute) eine signifikant längere Gehstrecke zurücklegen konnten. In dieser Studie wurden 20 Patienten untersucht [33].

Zusammenfassend finden sich geringfügig mehr Studien, die einen Nutzen der Sauerstoff-Therapie für COPD-Patienten unter Belastung belegen, allerdings werden in den meisten dieser Studien höhere Sauerstoff-Flussraten verwendet als in der vorliegenden Arbeit. Auf diese Thematik wird in Kapitel 4.3.1 näher eingegangen.

#### *4.3.1 Der Einfluss unterschiedlicher Methodik auf die Studienergebnisse*

In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei Belastungsformen gewählt, die Tätigkeiten des täglichen Lebens entsprechen. Besonders bückende Tätigkeiten werden von Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung als sehr belastend empfunden und nur kurze Zeit toleriert. Möglicherweise spielt hier die Kompression des Thorax mit erschwelter Atemmechanik in Kombination mit der Belastung größerer Muskelgruppen (Beinmuskulatur) eine Rolle. Jedoch auch Arbeiten über Kopf wie zum Beispiel Haarpflege stellt eine Belastungsform dar, die von diesen Patienten nur kurzfristig durchgeführt werden kann. Auch von lungengesunden Menschen wird Arbeiten über Kopf über einen längeren Zeitraum als belastend für die Muskulatur empfunden. Bei einer postulierten zellulären Hypoxie eines Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung ist hier eine deutlich niedrigere Überlastungsschwelle zu vermuten.

Im Vergleich mit anderen Studien stellen diese Belastungsformen keine standardisierten Verfahren dar und sind somit als ein Novum zu sehen. Im Rahmen klinischer Studien werden bisher fast ausnahmslos Belastungsformen wie der 6-Minuten-Gehtest oder die Fahrradergometrie gewählt, die eine gleichmäßige Belastung über den vom Patienten tolerierten Zeitraum gewährleisten. Allerdings erfordert ein 6-Minuten-Gehtest ausreichende räumliche Platzverhältnisse, eine Fahrradergometrie ist technisch, zeitlich und personell aufwändig. Belastungsuntersuchungen wie in der vorliegenden Studie könnten deshalb eine sinnvolle Alternative im klinischen Alltag darstellen.

Zudem wurde in einigen der genannten Studien [25, 33, 48, 50, 56] eine zum Teil deutlich höhere Sauerstoff-Flussrate pro Minute verwendet. Dies widerspricht der hierzulande regulären Versorgungspraxis und wäre im täglichen Leben auch kaum praktikabel, könnte aber die teilweise deutlich besseren Studienergebnisse erklären. Als zusätzliche Gefahr solcher hoher Flussraten ist das Auftreten einer Hyperkapnie und eventueller CO<sub>2</sub>-Narkose zu nennen.

Allen Studien ist die relativ geringe Anzahl an Probanden gemein, bei einer größeren Teilnehmerzahl würden die Ergebnisse dieser Studien eventuell anders ausfallen.

#### *4.3.2 Größe des Patientenkollektivs, Einschlusskriterien*

An der vorliegenden Studie nahmen 60 Patienten teil, das untersuchte Kollektiv ist somit größer als in den in der vorliegenden Arbeit zitierten Studien. Es wurden Patienten mit einer chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung im Stadium III und IV nach GOLD ausgewählt. Es herrschte kein ausgewogenes Geschlechterverhältnis (M40, W 20). Einige Patienten hatten den Nikotinkonsum noch nicht eingestellt.

#### *4.3.3 Studiendesign*

Vor Beginn der Untersuchungen wurde das Studiendesign erstellt, die Patienten wurden nacheinander erfasst. Die vorliegende Studie zeichnet sich durch die im Vergleich zu anderen Studien hohe Fallzahl von 60 Patienten aus. Die Aussagekraft der vorliegenden Studie könnte jedoch durch einige Faktoren limitiert sein: Der Schweregrad der Ruhezypoxämie war unterschiedlich, somit war die Heterogenität des Kollektivs erhöht. Der  $pO_2$  wurde jeweils zeitnah, jedoch nicht unmittelbar vor Untersuchungsbeginn bestimmt. Die Tätigkeiten unter Raumlufthbedingungen fanden ohne wirklichen Gasfluss als Placebo statt, was jedoch nur von wenigen Patienten bemerkt wurde und wahrscheinlich keinen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisse hat.

#### *4.3.4 Diskussion der gefundenen Ergebnisse*

Belastungsinduzierte Atemnot gehört zu den führenden Symptomen der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung. Neben der medikamentösen Therapie soll (bei Erfüllung der Indikation) die Sauerstoff-Langzeittherapie diese Symptome lindern, auch um den Patienten noch körperliche Aktivität zu ermöglichen. Die beiden untersuchten Alltagstätigkeiten zeigen jedoch, dass die Sauerstoffzufuhr im Vergleich zur Arbeit unter Raumlufthbedingungen keinen nennenswerten positiven Einfluss hat: Die bückende Tätigkeit verursacht unter Raumlufthbedingungen in beiden Patientengruppen eine signifikante Abnahme der Sauerstoffsättigung, nur bei den Patienten im Stadium IV lässt sich dann durch Sauerstoffzufuhr eine signifikante Reduktion des Sättigungsabfalles erreichen. Arbeiten über Kopf führt in beiden Gruppen ebenfalls zur Entsättigung, diese fällt jedoch deutlich geringer aus als bei der bückenden Tätigkeit. Bei den Patienten im Stadium IV war die Entsättigung

bei Arbeit über Kopf unter Raumlufbedingungen nicht signifikant. Dieses Ergebnis erstaunt, wäre doch gerade bei Patienten im Stadium GOLD IV ein signifikanter Sättigungsabfall zu erwarten. In beiden Gruppen ließ sich durch die Sauerstoffzufuhr auch bei dieser Tätigkeit jedoch keine signifikante Reduktion des Sättigungsabfalles erzielen.

Die mittlere Sauerstoffsättigung dagegen ließ sich in beiden Patientengruppen bei beiden Tätigkeiten durch die Sauerstoffgabe im Vergleich zu den Raumlufbedingungen signifikant steigern.

Dies hat allerdings keinen Einfluss auf die Wahrnehmung der Atemnot: in beiden Patientengruppen konnte bei beiden Tätigkeiten durch die Sauerstoffzufuhr keine signifikante Linderung des Atemnotempfindens erzielt werden. In beiden Patientengruppen fällt sowohl unter Raumlufbedingungen als auch unter Sauerstoffzufuhr die Zunahme des Atemnotempfindens beim Arbeiten über Kopf signifikant geringer aus als bei der bückenden Tätigkeit.

Auch bezüglich der Leistungsfähigkeit konnten weder die Patienten im Stadium III noch im Stadium IV von der gesteigerten mittleren Sauerstoffsättigung profitieren. Bei beiden Tätigkeiten konnte durch die Sauerstoffgabe keine signifikante Steigerung der Aktionen pro Zeiteinheit erreicht werden. Sowohl unter Raumluf als auch unter Sauerstoffzufuhr konnten die Probanden pro Zeiteinheit mehr Aktionen bei der Arbeit über Kopf als bei der bückenden Tätigkeit leisten. Eine Ursache dafür könnte sein, dass bei der bückenden Tätigkeit eine Kompression des Thorax auftritt, die die Atmung zusätzlich zur Belastungsdyspnoe behindert. Außerdem werden beim Bücken mit der Beinmuskulatur größere Muskelgruppen beansprucht als beim Arbeiten über Kopf. Dies könnte auch die bereits erwähnte signifikant geringere Zunahme im Atemnotempfinden beim Arbeiten über Kopf verglichen mit der Zunahme bei der bückenden Tätigkeit erklären.

Zwischen den beiden Krankheitsstadien GOLD III und IV ergab sich kein signifikanter Unterschied in Bezug auf Leistung pro Zeit und Atemnotempfinden bei beiden Tätigkeiten, obwohl die mittlere Sauerstoffsättigung bei beiden Tätigkeiten im Stadium GOLD III signifikant höher war als im Stadium IV. Diese Ergebnisse überraschen einerseits, andererseits ist zu bedenken, dass die GOLD-Klassifikation letztendlich eine willkürliche Einteilung der Krankheitsstadien darstellt. Im klinischen Alltag sind die Übergänge im klinischen Befinden zwischen Patienten mit GOLD-Stadium III bzw. IV fließend, auch spielt der übrige Allgemein- und Gesundheitszustand eine Rolle für die Leistungsfähigkeit des einzelnen Patienten.

## 5. Ausblick

### *5.1 Die Sauerstofftherapie im klinischen Alltag*

Die gegenwärtige Verschreibungspraxis für Sauerstoff für Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung orientiert sich an den S2-Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin. In diesen Leitlinien wird als Evidenzgrad für die Sauerstoff-Therapie bei COPD die Stufe A angegeben. Vergleicht man jedoch die gängige Literatur, zeigen sich widersprüchliche Ergebnisse der einzelnen Studien zum klinischen Nutzen der Sauerstoff-Therapie unter den gängigen Belastungsformen. Die vorliegende Arbeit stellt insofern ein Novum dar, als sie den Nutzen der Sauerstoff-Therapie bei Tätigkeiten des alltäglichen Lebens überprüft. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie profitieren die Patienten nicht von der Sauerstoff-Therapie bei diesen Tätigkeiten. Angesichts des wachsenden Kostendruckes im Gesundheitswesen sollte die Indikationsstellung für eine häusliche Sauerstoffversorgung kritisch bewertet werden, die vorliegende Arbeit könnte dazu einen Beitrag leisten. Wünschenswert wären entsprechende prospektive und randomisierte Studien mit größeren Fallzahlen und gegebenenfalls weiteren Alltagsbelastungen. Sollten entsprechende Studien zu ähnlichen Ergebnissen kommen, könnte dies ein enormer Beitrag zur Kostendämpfung im Gesundheitswesen sein.

Andererseits ist die Sauerstoff-Langzeit-Therapie die einzige Therapiemaßnahme bei der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung, die einen lebensverlängernden Effekt zu haben scheint. Somit sollte der behandelnde Arzt dem Patienten diese Therapie nicht vorenthalten. Allerdings sind die diesbezüglichen Studien bereits über 25 Jahre alt, zudem waren die untersuchten Kollektive verhältnismäßig klein. Neue Studien zur prognostischen Bedeutung der Sauerstoff-Langzeit-Therapie werden gerade erst begonnen. Angesichts der langen Beobachtungszeiträume werden valide Daten erst in einigen Jahren vorliegen.

### *5.2 Kosten der Sauerstofftherapie – eine exemplarische Aufstellung*

Nach Auskunft der AOK Bayern beträgt die Pauschale für Flüssigsauerstoff (bis zu einem Flow von 4 Litern pro Minute) 235 € netto pro Monat, zuzüglich 19 % Mehrwertsteuer. Auf ein Jahr gerechnet sind dies Therapiekosten von 3355,80 € brutto pro Patient. Angesichts der mit dem Rauchverhalten steigenden Zahl an Patienten mit chronisch obstruktiver

Atemwegserkrankung ist dies ein enormer Kostenfaktor für das Gesundheitswesen. Würden valide Daten zum Nutzen der Sauerstofftherapie bei Patienten mit COPD vorliegen, könnten unter Umständen einige Millionen Euro pro Jahr gespart werden. Verglichen dazu sind die Therapiekosten bei Versorgung mit einem Sauerstoffkonzentrator deutlich geringer, sie betragen 465 € netto pro Jahr. Dieses Kostenersparnis ist jedoch für den Patienten mit einer Einschränkung der Bewegungsfreiheit verbunden, zudem sind Konzentratoren technisch bedingt zur Bereitstellung höherer Flussraten nicht geeignet.

### *5.3 Überlegungen zur therapeutischen Konsequenz – Stellungnahme des Autors*

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stellen den klinisch tätigen Arzt vor ein Dilemma: Die Sauerstoff-Langzeit-Therapie scheint im alltäglichen Leben keinen Vorteil bezüglich Ausdauer und Atemnotempfinden zu bieten. Somit stellt sich die Frage, ob hier eine dauerhafte Patienten-Compliance bezüglich der Nutzungsdauer gewährleistet ist, zumal viele Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung im Vergleich zu lungengesunden Patienten vermehrt zu körperlicher Inaktivität neigen [51]. Wie bereits im vorherigen Absatz besprochen, scheint die Sauerstoff-Langzeit-Therapie jedoch die einzige Therapiemaßnahme bei COPD-Patienten mit einem lebensverlängernden Effekt zu sein. Bis zum Vorliegen neuer Studiendaten sollte sich die Verschreibungspraxis an den aktuellen Vorgaben der Fachgesellschaften orientieren.



## 6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wird der Effekt der Sauerstoff-Therapie gegenüber Raumlufumbedingungen während Tätigkeiten des täglichen Lebens verglichen. Unter Berücksichtigung der Literatur bestand die Arbeitshypothese, dass Patienten unter Sauerstoffzufuhr mehr Aktionen pro Zeiteinheit leisten können und bzw. oder ihr Atemnot-Empfinden unter Sauerstoffzufuhr weniger ausgeprägt ist als unter Raumlufumbedingungen. 60 Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung in den Stadien III und IV nach der GOLD-Klassifikation sollten jeweils über eine Minute leichte Gegenstände vom Boden aufheben (bückende Tätigkeit) und leichte Aktenordner in einem Regal umsortieren (Arbeiten über Kopf). Die Probanden führten die Tätigkeiten nacheinander aus, am Folgetag wurde die Versuchsreihe jeweils wiederholt. Einfach verblindet wurde während der Tätigkeiten an einem Tag Sauerstoff (Flussrate 2 L pro Minute) verabreicht, am anderen Tag fand der Versuch unter Raumlufumbedingungen statt. Die Reihenfolge der Tätigkeiten und der Tag der Sauerstoffgabe wurden mittels Los zu gleichen Teilen unter den Probanden verteilt.

Es zeigt sich eine signifikante Erhöhung der mittleren Sauerstoffsättigung sowohl bei bückender Tätigkeit als auch bei Arbeiten über Kopf. Die Patienten in beiden Krankheitsstadien profitierten aber weder hinsichtlich der Leistungsfähigkeit noch des Atemnotempfindens: Weder bei der bückenden Tätigkeit noch bei Arbeiten über Kopf konnten die Probanden unter Sauerstoffgabe signifikant mehr Leistungen pro Zeit erbringen. Auch bezüglich des Atemnotempfindens (gemessen an der BORG-Skala) zeigte sich unter der Sauerstoffzufuhr kein Benefit für die Patienten, es ergab sich keine signifikante Änderung in der empfundenen Belastungsatemnot. Es zeigte sich zwischen den Patienten im Stadium III und IV kein signifikanter Unterschied bezüglich Leistung pro Zeit und Atemnotempfinden bei beiden Tätigkeiten. Sauerstoff in einer Flussrate von 2 Litern pro Minute ist nach der vorliegenden Studie somit bei diesen Alltagstätigkeiten nicht effizient. Angesichts des wachsenden Kostendruckes im Gesundheitswesen sind neue Studien mit größeren Fallzahlen notwendig, um den Stellenwert der Sauerstofftherapie bei der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung neu festzulegen.

## 7. Abkürzungen

Abb.:	Abbildung
BORG:	Atemnotempfinden, erfasst anhand der BORG-Skala
CO <sub>2</sub> :	Kohlendioxid
COPD:	Chronic obstructive pulmonary disease
DBORG:	Änderung des Atemnotempfindens, erfasst anhand der BORG-Skala
DSaO <sub>2</sub> :	Änderung der arteriellen Sauerstoffsättigung
GOLD:	Global initiative for chronic obstructive lung disease
FEV <sub>1</sub> :	forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde
O <sub>2</sub> :	Sauerstoff
pO <sub>2</sub> :	Sauerstoffpartialdruck
pCO <sub>2</sub> :	Kohlendioxidpartialdruck
RL:	Raumluft
SaO <sub>2</sub> :	Arterielle Sauerstoffsättigung
ÜK:	Arbeit über Kopf

## 8. Literaturverzeichnis

1. Aida A, Miyamoto K, Nishimura M, Aiba M, Kira S, Kawakami Y. Prognostic value of hypercapnia in patients with chronic respiratory failure during long-term oxygen therapy. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 188-193
2. Aljuri N, Freitag L. Validation and pilot clinical study of a new bronchoscopic method to measure collateral ventilation before endobronchial lung volume reduction. *J Appl Physiol* 2009; 106: 774-783
3. Andreas S, Herth FJ, Rittmeyer A et al. Tabakrauchen, Chronisch obstruktive Lungenerkrankung und Lungenkarzinom. *Pneumologie* 2007; 61:590-595
4. Anthonisen NR, Connett JE, Murray RP. Smoking and lung function of Lung Health Study participants after 11 years. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 675-679
5. Barnes PJ, Celli BR: Systemic manifestations and comorbidities of COPD. *Eur Respir J* 2009; 33:1165-1185
6. Blanco I, de Serres FJ, Fernandez-Bustillo E, Lara B, Miravittles M. Estimated numbers and prevalence of PI\*S and PI\*Z alleles of alpha1-antitrypsin deficiency in European countries. *Eur Respir J* 2006; 27:77–84
7. Bradley JM, Lasserson T, Elborn S, MacMahon J, O'Neill B. A Systematic review of randomized controlled trials examining the short-term benefit of ambulatory oxygen in COPD. *Chest* 2007 ; 131 : 278-285
8. Bradley J, O'Neill B. Short-term ambulatory oxygen for chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database of Syst Rev* 2005 ; 4: CD004356
9. Cardoso PF, Snell GI, Hopkins P, Sybrecht GW, Stamatis G, Ng AW, Eng P. Clinical application of airway bypass with paclitaxel-eluting stents: early results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; 134 : 974-981

10. Celli BR, Cote CG, Marin JM, Casanova C, Montes de Oca M, Mendez RA, Pinto Plata V, Cabral HJ. The body-mass index, airflow obstruction, dyspnea, and exercise capacity index in chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med.* 2004; 350: 1005-1012
11. Celli BR, MacNee W, Augusti A, Anzueto A, Berg B, Buist AS, Calverley PMA, Chavannes N, Dillard T, Fahy B, Fein A, Heffner J, Lareau S, Meek P, Martinez F, McNicholas W, Muris J, Austegard E, Pauwels R, Rennard S, Rossi A, Siafakas N, Tieg B, Vestbo J, Wouters E, ZuWallack R. Standards for the diagnosis and treatment of patients with COPD: a summary of the ATS/ERS position paper. *Eur Respir J* 2004; 23: 932-946
12. Chailleux E, Fauroux B, Binet F, Dautzenberg B, Polu JM. Predictors of survival in patients receiving domiciliary oxygen therapy or mechanical ventilation. A 10-year analysis of ANTADIR Observatory. *Chest* 1996; 109: 741-749
13. Chaouat A, Weitzenblum E, Kessler R, Charpentier C, Enrhart M, Schott R, Levi-Valensi P, Zielinski J, Delaunois L, Cornudella R, Moutinho dos Santos J. A randomized trial of nocturnal oxygen therapy in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Eur Respir J.* 1999; 14: 1002-1008
14. Chatterjee AB, Rissmiller RW, Meade K, Paladenech C, Conforti J, Adair NE, Haponik EF, Chin R Jr. Reproducibility of the 6-minute walk test for ambulatory oxygen prescription. *Respiration* 2010; 79: 121-127
15. Cooper JD, Trulock EP, Triantafillou AN, Patterson GA, Pohl MS, Deloney PA, Sundaresan RS, Roper CL. Bilateral pneumonectomy (volume reduction) for chronic obstructive pulmonary disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995; 109: 106-119
16. Cranston JM, Crockett AJ, Moss JR, Alpers JH. Domiciliary oxygen for chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev* 2005; CD001744

17. Croxton TL, Bailey WC. Long-term oxygen treatment in chronic obstructive pulmonary disease: recommendations for future research: an NHLBI workshop report. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006; 174 (4): 373-378
18. Dahl M, Vestbo J, Lange P, Bojesen SE, Tybjaerg-Hansen A, Nordestgaard BG. C-reactive protein as a predictor of prognosis in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2007; 175: 250-255
19. De Meester J, Smits JM, Persijn GG, Haverich A. Listing for lung transplantation: life expectancy and transplant effect, stratified by type of end-stage lung disease, the Eurotransplant Experience. *J Heart Lung Transplant* 2001; 20: 518-524
20. Department of health and human services office of inspector general. Medicare and FEHB payment rates for home oxygen equipment. Washington DC.: US Government Printing Office; 2005. Inspector General Publication No. OEI-09-03-00160
21. Di Francia M, Barbier D, Mege JL, Orehek J. Tumor necrosis factor- $\alpha$  levels and weight loss in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care* 1994; 150: 1453-1455
22. Dubois P, Jamart J, Machiels J, Smeets F, Lulling J. Prognosis of severely hypoxemic patients receiving long-term oxygen therapy. *Chest* 1994; 105: 469-474
23. Eaton T, Fergusson W, Kolbe J, Lewis CA, West T. Short-burst oxygen therapy for COPD patients: a 6-month randomised, controlled study. *Eur Respir J* 2006; 27: 697-704
24. Eaton T, Garrett JE, Young P, Fergusson W, Kolbe J, Rudkin S, Whyte K. Ambulatory oxygen improves quality of life of COPD patients: A randomised controlled study. *Eur Respir J* 2002; 20: 306-312

25. Emtner M, Porszasz J, Burns M, Somfay A, Casaburi R. Benefit of supplemental oxygen in exercise training in nonhypoxemic chronic obstructive pulmonary disease patients. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 168: 1034-1042
26. European Respiratory Society. Lifting the smokescreen. Brussels: European Respiratory Society. 2006
27. Fabbri LM, Rabe KF. From COPD to chronic systemic inflammatory syndrome? *Lancet* 2007; 370: 797-799
28. Geldmacher H, Biller H, Herbst A, Urbanski K, Allison M, Buist AS, Hohlfeld JM, Welte T. The prevalence of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in Germany. Results of the BOLD study. *Dtsch Med Wochenschr* 2008; 133: 2609-2614
29. Górecka D, Gorzelak K, Sliwinski P, Tobiasz M, Zielinski J. Effect of long term oxygen therapy on survival in patients with chronic obstructive pulmonary disease with moderate hypoxaemia. *Thorax* 1997; 52: 674-679
30. Hogg JC, Chu F, Utokaparch S, Woods R, Elliott WM, Buzatu L, Cherniack RM, Rogers RM, Sciurba FC, Coxson HO, Paré PD. The nature of small-airway obstruction in chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med* 2004; 350: 2645-2653
31. Jaakkola MS, Jaakkola JJ. Impact of smoke-free workplace legislation on exposures and health: possibilities for prevention. *Eur Respir J* 2006; 28: 397-408
32. John M, Lange A, Hoernig S, Witt C, Anker SD. Prevalence of anemia in chronic obstructive pulmonary disease: comparison to other chronic diseases. *Int J Cardiol* 2006; 111: 365-370
33. Jolly EC, Di Boscio V, Aguirre L, Luna CM, Berensztejn T, Gené JR. Effects of supplemental oxygen during activity in patients with advanced COPD without severe resting hypoxemia. *Chest* 2001; 120: 437-443

34. Killen JW, Corris PA. A pragmatic assessment of the placement of oxygen when given for exercise induced dyspnoea. *Thorax* 2000; 55: 544-546
35. Kim V, Benditt JO, Wise RA, Sharafkhaneh A. Oxygen therapy in chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thorac Soc* 2008; 5: 513-518
36. Lacasse Y, Lecours R, Pelletier C, Bégin R, Maltais F. Randomised trial of ambulatory oxygen in oxygen-dependent COPD. *Eur Respir J* 2005; 25: 1032-1038
37. MacLay JD, McAllister DA, MacNee W. Cardiovascular risk in chronic obstructive pulmonary disease. *Respirology* 2007; 12: 634-641
38. Magnussen H, Kirsten MA, Köhler D, Morr H, Sitter H, Worth H. Leitlinien zur Langzeit-Sauerstofftherapie. Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. *Pneumologie* 2008; 62: 748-756
39. Mannino DM, Braman S. The epidemiology and economics of chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thorac Soc* 2007; 4: 502-506
40. McEvoy CE, Ensrud KE, Bender E et al. Association between corticosteroid use and vertebral fractures in older men with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 157: 704-709
41. Medical Research Council Working Party. Long term domiciliary oxygen therapy in chronic hypoxic cor pulmonale complicating chronic bronchitis and emphysema. *Lancet* 1981; I:681-686
42. Mehran RJ, Deslauriers J. Indications for surgery and patient work-up for bullectomy. *Chest Surg Clin N Am* 1995; 5 (4): 717-734
43. Nandi K, Smith AA, Crawford A, MacRae KD, Garrod R, Seed WA, Roberts CM. Oxygen supplementation before or after submaximal exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 2003; 58: 670-673

44. National Emphysema Treatment Trial Research Group. A randomized trial comparing lung-volume reduction surgery with medical therapy for severe emphysema. *N Engl J Med* 2003; 348: 2059-2073
45. Naunheim KS, Wood De, Mohsenifar Z, Sternberg AL, Criner GJ, DeCamp MM, Deschamps CC, Martinez FJ, Sciurba FC, Tonascia J, Fishman AP. Long-term follow-up of patients receiving lung-volume-reduction-surgery versus medical therapy for severe emphysema by the National Emphysema Treatment Trial Research Group. *Ann Thorac Surg* 2006; 82: 431-443
46. Nocturnal Oxygen Therapy Trial Group. Continuous or nocturnal oxygen therapy in hypoxic chronic obstructive lung disease. *Ann. Intern Med.* 1980; 93:391-398
47. Nonoyama ML, Brooks D, Lacass Y, Guyatt GH, Goldstein RS. Oxygen therapy during exercise training in chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007: CD005372
48. O'Donnell DE, D'Arsigny C, Webb KA. Effects of hyperoxia on ventilatory limitation during exercise in advanced chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 163: 892-898
49. O'Donnell DE, Travers J, Webb KA, He Z, Lam YM, Hamilton A, Kesten S, Maltais F, Magnussen H. Reliability of ventilatory parameters during cycle ergometry in multicentre trials in COPD. *Eur Respir J.* 2009; 34: 866-874
50. Peters MM, Webb KA, O'Donnell DE. Combined physiological effects of bronchodilators and hyperoxia on exertional dyspnoea in normoxic COPD. *Thorax* 2006; 61: 559-567
51. Pitta F, Troosters T, Spruit MA, Probst VS, Decramer M, Gosselink R. Characteristics of physical activities in daily life in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2005; 171: 972-977



52. Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, Barnes PJ, Buist SA, Calverley P, Fukuchi Y, Jenkins C, Rodriguez-Roisin R, van Weel C, Zielinski J. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. GOLD Executive Summary. *Am J Respir Crit Care Med* 2007; 176: 532-555
53. Rodrigue JR, Baz MA, Kanasky Wf Jr, MacNaughton KL. Does lung transplantation improve health-related quality of life? The University of Florida experience. *J Heart Lung Transplant* 2005; 24: 755-763
54. Sandland CJ, Morgan MDL, Singh SJ. Patterns of domestic activity and ambulatory oxygen usage in COPD. *Chest* 2008; 134: 753-760
55. Schols AM, Broekhuizen R, Weling-Scheepers CA, Wouters EF. Body composition and mortality in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 53-59
56. Somfay A, Porszasz J, Lee SM, Casaburi R. Dose-response effect of oxygen on hyperinflation and exercise endurance in nonhypoxaemic COPD patients. *Eur Respir J*. 2001; 18: 77-84
57. Stevenson NJ, Calverley PM. Effect of oxygen on recovery from maximal exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 2004; 59: 668-672
58. Studer S, Levy R, McNeil K, Orens JB. Lung transplant outcomes; a review of survival, graft function, physiology, health-related quality of life and cost-effectiveness. *Eur Respir J* 2004; 24: 674-685
59. TenVergert E, Essink-Bot M, Geertsma A, van Enckevort PJ, de Boer WJ, van der Bij W. The effect of lung transplantation on health related quality of life: a longitudinal study. *Chest* 1998; 113: 358-364
60. Vogelmeier C, Buhl R, Criée CP, Gillissen A, Kardos P, Köhler D, Magnussen H, Morr H, Nowak D, Pfeiffer-Kascha D, Petro W, Rabe K, Schultz K, Sitter H, Teschler

H, Welte T, Wettengel R, Worth H. Leitlinien der Deutschen Atemwegsliga und der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin zur Diagnostik und Therapie von Patienten mit chronisch obstruktiver Bronchitis und Lungenemphysem (COPD). *Pneumologie* 2007; 61: 323-340

61. Wan IY, Toma TP, Geddes DM, Snell G, Williams T, Venuta F, Yim AP. Bronchoscopic lung volume reduction for end-stage emphysema: report on the first 98 patients. *Chest* 2006; 129: 518-526

62. Washko GR, Fan VS, Ramsey SD, Mohsenifar Z, Martinez F, Make BJ, Sciurba FC, Criner GJ, Minai O, Decamp MM, Reilly JJ; National Emphysema Treatment Trial Research Group. The effect of lung-volume-reduction surgery on chronic obstructive pulmonary disease exacerbations. *Am J Respir Crit Care Med* 2008; 177: 164-169

63. Wood DE, McKenna RJ Jr, Yusem RD, Sterman DH, Ost DE, Springmeyer SC, Gonzalez HX, Mulligan MS, Gildea T, Houck WV, Machuzak M, Mehta AC. A multicenter trial of an intrabronchial valve for treatment of severe emphysema. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; 133: 65-73

64. World Health Organisation. Global Surveillance, prevention and control of chronic respiratory diseases: A comprehensive approach. Geneva: WHO Press; 2007

65. Yohannes AM, Baldwin RC, Connolly MJ. Depression and anxiety in elderly patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Age Aging* 2006;35:457-459

66. [www.linde-gastherapeutics.de](http://www.linde-gastherapeutics.de)

67. [www.nri-med.de](http://www.nri-med.de)

68. [www.respiratory.ch](http://www.respiratory.ch)

69. Physio- und Atemtherapie Klinikum Berchtesgadener Land

## 9. Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

	<b>Seite</b>
Abb. 1      Stadieneinteilung der COPD nach GOLD	7
Abb. 2      BORG-Skala	8
Abb. 3      Gasdruckflasche	10
Abb. 4      Heim-O <sub>2</sub> -Konzentrator	10
Abb. 5      Mobiler O <sub>2</sub> -Konzentrator	10
Abb. 6      Flüssig-O <sub>2</sub> mit stationärem Tank und Tragebehälter	11
Abb. 7      Demand-Ventil	11
Abb. 8      Bückende Tätigkeit	15
Abb. 9      Arbeiten über Kopf	15
Abb. 10      BORG-Skala	16
Abb. 11      DSaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD III	20
Abb. 12      DSaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD IV	20
Abb. 13      DSaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD III	21
Abb. 14      DSaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD IV	22
Abb. 15      Mittlere S <sub>a</sub> O <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD III	23
Abb. 16      Mittlere S <sub>a</sub> O <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD IV	23
Abb. 17      Mittlere S <sub>a</sub> O <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD III	24
Abb. 18      Mittlere S <sub>a</sub> O <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD IV	25
Abb. 19      BORG bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD III	26
Abb. 20      BORG bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD IV	26
Abb. 21      BORG bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD III	27
Abb. 22      BORG bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD IV	28
Abb. 23      Vergleich BORG bei bückender Tätigkeit/Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III	29
Abb. 24      Vergleich BORG bei bückender Tätigkeit/Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III	30
Abb. 25      Vergleich BORG bei bückender Tätigkeit/Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD IV	30

		<b>Seite</b>
Abb. 26	Vergleich BORG bei bückender Tätigkeit/Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD IV	31
Abb. 27	Anzahl Aktionen bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD III	32
Abb. 28	Anzahl Aktionen bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD IV	32
Abb. 29	Anzahl Aktionen bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD III	33
Abb. 30	Anzahl Aktionen bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD IV	34
Abb. 31	Vergleich DSaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	35
Abb. 32	Vergleich DSaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	35
Abb. 33	Vergleich DSaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	36
Abb. 34	Vergleich DSaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	37
Abb. 35	Vergleich mittlere SaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	38
Abb. 36	Vergleich mittlere SaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	38
Abb. 37	Vergleich mittlere SaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	39
Abb. 38	Vergleich mittlere SaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	40
Abb. 39	Vergleich DBORG bückende Tätigkeit bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	41
Abb. 40	Vergleich DBORG bückende Tätigkeit mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	41
Abb. 41	Vergleich DBORG Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	42

		<b>Seite</b>
Abb. 42	Vergleich DBORG Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	43
Abb. 43	Vergleich Aktionen bei bückender Tätigkeit bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	44
Abb. 44	Vergleich Aktionen bei bückender Tätigkeit mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	44
Abb. 45	Vergleich Aktionen bei Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	45
Abb. 46	Vergleich Aktionen bei Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	46

## 9.2 Tabellenverzeichnis

		<b>Seite</b>
Tab.1	Untersuchungsablauf	18
Tab. 2a	DSaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD III	19
Tab. 2b	DSaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD IV	19
Tab. 3a	DSaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD III	21
Tab. 3b	DSaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD IV	21
Tab. 4a	Mittlere S <sub>a</sub> O <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD III	22
Tab. 4b	Mittlere S <sub>a</sub> O <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD IV	22
Tab. 5a	Mittlere S <sub>a</sub> O <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD III	24
Tab. 5b	Mittlere S <sub>a</sub> O <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD IV	24
Tab. 6a	BORG bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD III	25
Tab. 6b	BORG bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD IV	25
Tab. 7a	BORG bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD III	27
Tab. 7b	BORG bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD IV	27
Tab. 8a	Vergleich BORG bei bückender Tätigkeit/Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III	28
Tab. 8b	Vergleich BORG bei bückender Tätigkeit/Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III	28

		<b>Seite</b>
Tab. 8c	Vergleich BORG bei bückender Tätigkeit/Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD IV	29
Tab. 8d	Vergleich BORG bei bückender Tätigkeit/Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD IV	29
Tab. 9a	Anzahl Aktionen bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD III	31
Tab. 9b	Anzahl Aktionen bei bückender Tätigkeit, Patienten im Stadium GOLD IV	31
Tab. 10a	Anzahl Aktionen bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD III	33
Tab. 10b	Anzahl Aktionen bei Arbeiten über Kopf, Patienten im Stadium GOLD IV	33
Tab. 11a	Vergleich DSaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	34
Tab. 11b	Vergleich DSaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	35
Tab. 12a	Vergleich DSaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	36
Tab. 12b	Vergleich DSaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	36
Tab. 13a	Vergleich mittlere SaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	37
Tab. 13b	Vergleich mittlere SaO <sub>2</sub> bei bückender Tätigkeit mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	37
Tab. 14a	Vergleich mittlere SaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	39
Tab. 14b	Vergleich mittlere SaO <sub>2</sub> bei Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	39
Tab. 15a	Vergleich DBORG bückende Tätigkeit bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	40
Tab. 15b	Vergleich DBORG bückende Tätigkeit mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	40

		<b>Seite</b>
Tab. 16a	Vergleich DBORG Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	42
Tab. 16b	Vergleich DBORG Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	42
Tab. 17a	Vergleich Aktionen bei bückender Tätigkeit bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	43
Tab. 17b	Vergleich Aktionen bei bückender Tätigkeit mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	43
Tab. 18a	Vergleich Aktionen bei Arbeiten über Kopf bei Raumluft, Patienten im Stadium GOLD III und IV	45
Tab. 18b	Vergleich Aktionen bei Arbeiten über Kopf mit O <sub>2</sub> , Patienten im Stadium GOLD III und IV	45

## 10. Danksagung

Allen voran möchte ich Herrn Professor Dr. med. Karl Häußinger für seine große Unterstützung und geduldige Beratung bei der Erstellung dieser Arbeit danken.

Herrn Dr. med. Norbert Weber danke ich ganz herzlich für die Unterstützung und Hilfe bei der Umsetzung der Versuchsreihen.

Ebenso möchte ich allen Mitarbeitern an der Asklepios-Fachklinik München-Gauting danken, die mir bei organisatorischen Fragen und Problemen helfend zur Seite gestanden sind.



